

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шукюров Азер Меджід оглу

УДК 622.232: 622.23.01

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
МАСОВОГО ВИБУХУ В УМОВАХ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ НА
ГІРСЬКИХ СХИЛАХ

Спеціальність 184 – гірництво

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

А.М.о Шукюров

Науковий керівник Кравець Віктор Георгійович, д.т.н.,

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Шукюров А.М.о. Удосконалення технологічних параметрів масового вибуху в умовах розробки родовищ на гірських схилах – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю **184 – Гірництво.** – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

В роботі в якості предмета досліджень обрано спеціальні умови розробки рудних родовищ на гірських схилах, що обмежують висоту уступів та відповідно довжину свердловинних зарядів. Особливу увагу приділено початковій стадії формування механічного ефекту вибуху в крайових ділянках подовженого заряду. В дисертації досліджується специфіка розробки нагірних родовищ через значний перепад висот в межах одного блоку, який диктує необхідність зниження висоти уступу до 3...6м та довжини заряду до 2-х...4-х метрів. Внаслідок скорочення довжини свердловинного заряду стає більш істотною участь його торцевих частин, де до 35...40% складають дисипативні втрати енергії через зміну симетрії силового поля.

В дослідженнях враховується відмінність завдань і особливості прояву та розвитку крайових ефектів в нижньому і верхньому торцях заряду. Нижня торцева частина заряду, яка відповідає за зону перебуру з метою запобігання порогів, перебуває в максимально затиснутих умовах, зустрічає найбільший опір скельного масиву руйнуванню і вимагає першочергової уваги в дослідженнях. Закономірності формування поля напружень з урахуванням крайових явищ вивчено шляхом аналітичних розрахунків, що ґрунтуються на заміні лінійного заряду системою зосереджених зарядів. На основі складеного алгоритму обчислено параметри силового поля для різних варіантів миттєвого та сповільненого вибуху системи

зосереджених зарядів. Розрахунки крайових явищ при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів свідчать, що за умови миттєвого ініціювання заряду одночасно по обох торцях заряду виродження осьової симетрії силового поля відбувається від торців заряду на глибину до 50 його радіусів, тобто в реальних умовах підривання коротких свердловинних зарядів їх механічний ефект в більшій мірі формується ослабленими кінцевими ділянками лінійного заряду.

Для компенсації енергетичних втрат на початковій стадії розвитку силового поля запобіжником виродження фронту хвилі напружень можливе збільшення торцевої частини свердловинного заряду в 1,5...1,7 рази. В якості раціонального способу керування енергетичним потоком в нижньому торці заряду запропоновано застосування проміжного ініціатора, розташованого в донній частині свердловини і здатного поряд із збудженням в заряді детонації створити умови для зародження і розвитку радіальної тріщини в площині підшви уступу з метою вирішення проблеми перебуру. Зокрема, запропоновано заміну циліндричної форми бойовика на конічну, розраховану на концентрацію енергетичного потоку по нормалі до похилої бічної поверхні конуса в кутову зону дна свердловини,. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання вибуху заряду в формі усіченого конуса показав, що вибух конічного бойовика генерує силове поле грушоподібної форми, здатне провокувати розвиток радіально-кільцевої відкольної тріщини на рівні підшви уступу, що дозволяє відмовитись від перебуру.. Виконані в роботі модельні експерименти свідчать про можливість отримання зародку радіального деформаційного процесу вибухом донного бойовика, а інженерні розрахунки конфігурації зони руйнування від вибуху комбінованого заряду (конічний бойовик в свердловинному заряді ВР) на рівні нижнього торця свердловини свідчать про випереджуючу бічну дію вибуху в напрямку площини підшви уступу. При цьому раціональний кут нахилу бічної поверхні зворотного конічного

заряду до його більшої основи складає $70^{\circ} \dots 80^{\circ}$. Оскільки на рівні верхнього торця свердловинного заряду його підсилення обмежене небезпекою посиленого розкидання в умовах схилових родовищ, способи керування крайовим ефектом на рівні набійки слід розглядати лише в аспекті групового підривання зарядів.

Аналізом літературних даних та власними інженерними розрахунками в межах популярних параметрів БВР встановлено, що деформація верхнього шару породи на рівні набійки відбувається послідовно протягом 4-х фаз: хвильової, камуфлетної, воронкоутворення та масових зміщень. Хвильова фаза практично охоплює весь обсяг верхнього породного шару, але через значні торцеві та дисипативні втрати енергії верхня половина цього шару піддається лише мікродеформаційним змінам, які створюють передруйнівний стан в породі. Камуфлетна фаза, що реалізується на контакті з торцем, позначена потужними пластичними руйнуваннями, але лише на контакті торця заряду з масивом породи. Фаза воронкоутворення охоплює частини масиву навколо набійки, але, згідно з розрахунками, окремі воронки спущення над суміжними торцями практично не перетинаються, залишаючи в проміжку між собою не зачеплену воронкоутворенням область. Аналіз розрахункових даних свідчить, що обсяг неруйнованої області масиву на рівні набійки між суміжними воронками спущення практично не залежить від висоти уступу, але максимально скорочується в абсолютному вимірі при зменшенні діаметра заряду до 105мм при мережі зарядів 3х3м та використанні промислової ВР типу ANFO. Ці параметри можна вважати найбільш раціональними для проектування вибухових мереж.

Завдяки нижньому ініціюванню в часі детонації заряду в масив випромінюється ударна хвиля, фронт якої орієнтується у бік поверхневих шарів на рівні набійки. Найбільшого ефекту від такої переорієнтації силового поля можна досягти одночасним нижнім ініціюванням суміжних

свердловинних зарядів. Тоді фронти полів напружень мають зустрітись в міжзарядному просторі, а сумарний вектор силового поля спрямовується по нормалі до вільної поверхні блоку. Фактично в цьому випадку пропонується схема вертикального клинового врубу, орієнтованого замість вільної бічної поверхні в бік покрівлі уступу, яка через її значне простягання є одним з джерел негабариту.

Пропонується нова схема взаємодії груп зарядів, що суперечить традиційним прийомам конструювання вибухових мереж., тому в роботі впробовано компромісну схему комутації, яка полягає в одночасному паралельному вибуху трьох суміжних рядів свердловинних зарядів в якості однієї групи, з наступним короткостовільним вибухом суміжної трирядної групи і далі. Реалізація такої схеми дозволяє використати її переваги завдяки поєднанню механізмів переміщення мас у вертикальному напрямку з традиційним зіткненням ділянок масиву в горизонтальному напрямку. Переваги застосування змішаної схеми комутації мережі доведені промисловими випробуваннями. Пропонована схема супроводжується вдосконаленою технікою контурного підривання.

Результатом впровадження рекомендованих в дисертаційній роботі удосконалених параметрів конструювання зарядів обмеженої довжини та їх схем масового підривання на золоторудному Човдарському родовищі є повна відмова від перебуру із зменшенням бурових робіт та ВР, витрат матеріалів і праці, а також скорочення на кар'єрі виходу негабаритної фракції вдвічі. Вказані два основні показники забезпечили разом економічний ефект понад 2,0млн. грн. в розрахунку на річний об'єм видобування золоторудної сировини в 650000м³ в розмірі.

Ключові слова: гірський схил, свердловинний заряд, крайовий ефект, силове поле, енергетичні втрати, радіально-кільцева тріщина, перебур, руйнування, конічний заряд, забойка, раціональні параметри, негабарит, вертикальний клиновий вруб, короткоуповільнене підривання.

ABSTRACT

Shukurov A.V.o. **«Improvement of technological parameters of mass explosion in the conditions of mining in mountain slopes».** – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for a Philosophy Doctor Degree in Technical Sciences, specialty **184 - Mining**. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of education and science of Ukraine, Kyiv, 2021.

Work as a subject of study chosen by the special conditions of development of ore deposits on the mountain slopes, limiting the height of the ledges and respectively the length of the borehole charges. Special attention is paid to the initial stage of the formation of the mechanical effect of the explosion in the two ends of an elongated charge. The thesis investigates the specifics of the development of the upland fields, is a significant change in the height of the step within the same block. Reducing the height of the step up to 3...6m requires reduction of the length of charge up to 2...4 meters. The reduction in the length of the borehole charge becomes more significant impact to its extreme plots, in which 35...40% are dissipative energy losses through the change of symmetry of the force field.

The research considers the difference in tasks for the upper and lower ends of the borehole charge and the features of the development in them of boundary effects. The lower end part of the charge is amplified zone overdrilling to prevent thresholds, since it is maximally clamped conditions, meets the greatest resistance of rock massif destruction and therefore requires urgent attention in research. Regularities of formation of stress fields with a given boundary phenomena studied by means of analytical calculations based on replacement linear charge by system of concentrated charges. On the basis of the algorithm computed the parameters of the force fields for the various options of instant and delayed explosion system of concentrated charges. Calculations of the marginal effects by

the explosion of a borehole charge with limited size suggests that assuming instantaneous initiation of the charge in both ends of the charge degeneracy of the axial symmetry of the force field occurs from the ends of the charge to a depth of 50 its radii, that is, in real terms short of blasting borehole charges of their mechanical effect in a greater degree is formed by the weakened end sections of the linear charge.

To compensate for the energy losses at the initial stage of development of the force field fuse degeneration of the wave front strain it is possible to increase the end part of the borehole charge of 1.5...1.7 times. As a rational method of management of energy flow in the lower end of the charge the proposed application of the intermediate initiator, located at the bottom of the borehole and able, along with the initiation of detonation in the charge to create the conditions for the emergence and development of radial cracks in the plane of the soles of the ledge with the goal of addressing a problem overdrilling. In particular, the proposed replacement of the cylindrical shape of the action tapered, designed for the concentration of energy flow normal to the inclined lateral surface of a cone in the corner area of the bottom of the borehole. Analysis of the results of computer simulation of explosion of the charge in the form of a truncated cone showed that the conical explosion of action generates a force field, pear-shaped, capable to provoke the development of radial-circular cracks at the level of the soles of the ledge, which eliminates overdrill. Made in modelling experiments indicate the possibility of obtaining the embryo of a radial deformation process of the explosion of bottom of action, and engineering calculations the configuration of the zone of destruction from the explosion of the combined charge (conical initiator in charge of explosive) at the lower end of the borehole indicate a forward lateral effects of the explosion in the direction of the plane of the soles of the ledge. While the rational angle of the side surface of the inverse conical charge to its larger base is $70^{\circ} \dots 80^{\circ}$. Since the upper end of the borehole charge amplification is limited by the danger of enhanced scattering in terms of slope

deposits, control methods of boundary effect on the level of the tamping should be considered only in the aspect of group blasting charges.

Analysis of literature data and engineering calculations within a popular drilling and blasting parameters is established that the deformation of the upper layer of rock at the level of the tamping occurs consistently throughout the 4 phases: of the stress wave, kamulete, forming of crumbling craters and mass displacements. Wave phase covers almost the entire volume of the upper rock layer at the level tamping. However, after significant dissipative loss of energy due to the mechanical effect in the upper half of this layer occurs only mikrocracs changes that create the befordevastating state. Camouflage phase, which is implemented only in contact with the upper and lower ends of the charge, is a powerful plastic deformation in the array of the rock massive. The phase of formation of the funnel covers a part of the array around tamping. According to the calculations, a separate funnel loosening over the adjacent ends of the charges practically do not overlap, in the interval between them is the area of the massif that are not affected by the process of the formation of craters. The analysis of calculation data shows that the volume pruinosa region-level array of tamping between adjacent craters does not practically depend on the height of the step. However, in absolute terms this volume decrease with decreasing of charge diameter up to 105 mm, network charges 3x3 m and with ussng of industrial explosives type ANFO. These parameters can be considered the most rational for the design of blasting networking in terms of quartzitic rocks developing on mountain slopes.

Due to the lower initiation during detonation of the charge in the array radiates the shock wave front in space between adjacent charges is oriented towards the surface layers at the level tamping. The greatest effect of such a reorientation of force fields can be achieved simultaneously by the lower initiation of adjacent borehole charges. Then the fronts of the stress field needs to meet in space between adjacent charges, and the total vector force field is directed

normal to the upper free surface of the block. In fact, in this case, a scheme of the vertical V-cut, oriented instead of the side surface to the side of the roof ledge, which through its significant stretch is one of the main sources of oversizes.

The paper proposes a fundamentally new scheme of interaction of groups of charges, which contradicts the traditional methods of designing explosive networks. A complex switching scheme is implemented, which is realised as follows. Three adjacent rows of downhole charges are combined into one joint group for simultaneous parallel burst; the following groups of 3 adjacent rows each initiated with short delays. The implementation of such scheme allows to use the mechanism of movement of rock masses in the vertical direction with the traditional collision of areas of the array in the horizontal direction. The benefits of using a mixed network switching scheme have been proven by industrial testing. The proposed scheme is accompanied by the application of advanced contour blasting technique.

As a result of the introduction of advanced parameters of designing charges with limited length and the scheme of their massive blasting, the enterprise completely abandoned the overdrill at the gold-bearing Chovdar field recommended in the dissertation. This allowed for a 10% reduction in the amount of drilling work and the consumption of explosives, materials and labor, and also reduced the output of the oversized fraction by half (from 10 to 5%). These two key indicators have combined to produce an economic impact of over 2.0 million UAH based on an annual production of 650000m³ of ore row.

Keywords: mountain slope, borehole charge, boundary effect, force field, energy losses, radial-annular crack, breakthrough, destruction, conical charge, clogging, rational parameters, oversize, vertical wedge cut, short-term explosion.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Фізичні та технологічні чинники формування детонаційної здатності свердловинних зарядів емульсійних вибухових речовин/В.А.Поплавський, В.Г.Кравець, **А.М.Шукюров**, В.В.Павленко /Вісник ЖДТУ, 2017, №1(79).- С.197-202

2. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми/Кравець В.Г., **Шукюров А.**, Гонтарь П.В., Ган А.Л., Коробійчук В.В./ Вісник ЖДТУ, №2(82)-2018.-С.247-252

3. Ган А.Л., Розробка ефективних параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування гірського масиву на рівні набійки /А.Л.Ган, **А.М.Шукюров**, С.А.Турбінський/ Вісник ЖДТУ, №1(83)-2019.-С.242-248

Публікація у фаховому зарубіжному періодичному виданні:

4. Technological applications of border effects by hole charges system explosion/Viktor Kravets, **Azer Shukurov**, Roman Zakusylo, Andriy Kovtun/Materialy Wysokoenergetyczne. 2019.11(2)-S.21-30

Публікації в наукометричному виданні (Scopus)

5. Regularities of the Energy of Formation Field in the Explosion of a Conical Charge /Viktor Kravets, Roman Zakusylo, Yuri Sydorenko, **Azer Shukurov**, Tomasz Sałaciński, Daryna Zakusylo/ Central European Journal of Energetic Materials/ 2019,16, (4): P.533-546

Публікації за матеріалами конференцій:

6. **Наукометрична публікація:** Explosive wave propagation in the presence of antiseismic protective curtain/Viktor Kravets, Natalia Remez, Andrii Kovtun, **Azer Shukurov**/ Ukrainian School of Mining Engineering XII

International Scientific and Practical Conference, E3S Web of Conferences, Berdiansk: Ukraine, 4 – 8 September 2018 / Vol/60, 2018.-8p.

7.Edge effects of limited length downhole charge explosion/ V. Kravets, R. Zakusylo,A.Shukurov, A/Han, S.Turbinski/ Conference proceedings of 31 th International Conference BLASTING TECHNIQUES 2019, Slovak Society for Blasting and Drilling Works, Banská Bystrica Slovakia: 2019.- P.207-216.

8.**Шукюров А.М.** Теоретичні дослідження силового поля при вибуху нециліндричних зарядів/**А.М. Шукюров** В.Г.Кравець, Р.В.Закусило/ Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» Шосткинський інститут Сумського Державного університету Шостка:14-16 листопада 2018р. Шостка-Суми: СДУ. 2018.-С. 14-16.

9.Управління механічним ефектом вибуху зарядів контактної дії/А.Л.Марчук, **А.М. Шукюров**, В.А. Поплавський/ Перспективи розвитку будівельних технологій: тези доповідей 11-ї міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів (Дніпро, 26-27 квітня 2017 р.) / Національний гірничий університет – Д., 2017. – С. 39-42.

10. Шукюров А.М. Теоретичні дослідження силового поля при вибуху нециліндричних зарядів/А.М.Шукюров,В.Г.Кравець,Р.В.Закусило/ Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» Шосткинський інститут Сумського Державного університету Шостка:14-16 листопада 2018р. Шостка-Суми: СДУ. 2018.-С. 14-16.

Деклараційний патент

11.Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів./В.В.Бойко, В.Г.Кравець, **А.М.Шукюров**, Т.В.Хлевнюк, А.Л.Ган/Декл. пат. № 135668 публ. 10.07.2019р. Бюл. №13,

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МАСОВОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ	20
1.1. Визначальні чинники ефективності подрібнення гірських порід масовим вибухом.....	20
1.2. Вдосконалення конструктивних елементів свердловинного заряду ..	32
1.3. Розвиток ефективних конструкцій подовженого заряду та постановка задач досліджень	39
РОЗДІЛ 2. ТОРЦЕВИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЕФЕКТ ХВИЛЬОВОЇ ФАЗИ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ ОБМЕЖЕНОЇ ДОВЖИНИ.....	43
2.1. Природа і технологічне значення крайового ефекту вибуху свердловинного заряду обмеженої довжини	43
2.2. Аналітичні дослідження крайового ефекту при вибуху подовженого заряду обмежених розмірів.....	47
2.3. Прийоми формування торцевого ефекту вибуху лінійного заряду....	52
2.4. Керування торцевим ефектом вибуху в дні свердловини	56
Висновки.....	68
РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЧНИЙ ЕФЕКТ ВИБУХУ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО КОНІЧНОГО БОЙОВИКА В АРХІТЕКТУРІ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ	70
3.1. Модельні дослідження силового поля від вибуху конічного заряду..	70
3.2. Особливості збудження детонаційного процесу в свердловинному заряді вибухом конічного бойовика	78
3.3. Пріоритетний напрямок розвитку механічного ефекту вибуху конічного заряду.....	86
3.4. Вплив кутового параметра на прояви механічного ефекту вибуху клиновидного заряду.....	97
Висновки.....	107
РОЗДІЛ 4. ПАРАМЕТРИ МАСОВОГО ВИБУХУ СИСТЕМИ ЗАРЯДІВ З УРАХУВАННЯМ КРАЙОВИХ ЕФЕКТІВ.....	109
4.1. Динаміка розвитку крайового ефекту вибуху суміжних свердловинних зарядів	109

4.2. Енергетичні втрати вибуху в торцевих частинах свердловинного заряду	117
4.3. Вплив параметрів системи суміжних зарядів на формування зони подрібнення у верхній частині уступу	129
Висновки	133
РОЗДІЛ 5. НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАСОВОГО ВИСАДЖЕННЯ В УМОВАХ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ НА СХИЛАХ	135
5.1. Практичні аспекти керування крайовими ефектами в системі масового вибуху	135
5.2. Техніко-економічні показники масового вибуху в умовах розробки родовища на гірському схилі	144
Висновки	148
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	152
ДОДАТОК А	164
ДОДАТОК В.....	169
ДОДАТОК С.....	172
ДОДАТОК D	175

ВСТУП

Актуальність теми. Теорія і практика вибухової справи значне місце серед ефективних методів управління механічним ефектом вибуху відводить формуванню геометрії і інтенсивності потоку енергії вибуху окремого свердловинного заряду в процесі його ініціювання, тобто початковій стадії формування силового поля. У комплексі таких основних чинників, як інтенсивність, спрямованість дії і послідовність взаємодії енергетичних потоків в системі «проміжний бойовик - заряд - гірський масив» перші два практично повністю пов'язані зі стадією ініціювання. Вони в значній мірі визначають розвиток сумарного механічного ефекту вибуху і кінцевий його результат.

Традиційні теоретичні методи та емпіричні методики проектування конструкцій і параметрів окремого свердловинного заряду і на цій основі - параметрів системи зарядів в умовах масового висадження виходять з передумови про осьову симетрію самого заряду і відповідну симетрію поля напружень і деформацій. Класичні теоретичні рішення розглядають свердловинний заряд нескінченно довгим, щоб уникнути складнощів опису механізму розвитку процесу в торцевих частинах реального заряду кінцевої довжини. Емпіричні методики будуються на узагальненні дослідних даних, рекомендуючи раціональні конструктивні рішення, одночасно виключаючи необхідність пояснення крайових ефектів, що виникають. Крайові ефекти присутні в подовженому заряді обмежених розмірів, проявляючись в торцевих його частинах у вигляді зміни симетрії процесу. Вони пов'язані також з енергією, формою, місцем розташування в свердловину заряді проміжного ініціатора, який зумовлює напрямок розвитку поля напружень і закономірності взаємодії силових полів в системі зарядів. Подібні емпіричні методики, вирішуючи завдання в області підосви уступу, в області набійки і в міжзарядному цілику, вимагають постійного практичного уточнення стосовно конкретних випадків. Техніка масового

вибуху постійно вдосконалюється завдяки застосуванню сучасних методів математичного програмування. Ґрунтуючись на нових можливостях, вибухова наука стосовно завдань гірничої справи набуває інструментарію, що дозволяє формувати силове поле вибухом зарядів довільної форми. Ґрунтуючись на викладеному, вдосконалення прийомів конструювання і ініціювання свердловинних зарядів складної архітектури з урахуванням крайових явищ і подальшої взаємодії зарядів в системі, включаючи розвиток механічного ефекту в руйнованому об'ємі, для наукового обґрунтування удосконалених технологічних параметрів керованого руйнування породного масиву є **актуальною** науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» відповідно до плану наукових досліджень кафедри і є складовою частиною НДР: «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірничого та геотехнічного будівництва» (№ ДР 0115U005398) в якій автор брав участь.

Мета роботи - встановити закономірності комплексного впливу параметрів системи "проміжний детонатор - детонуючий заряд - міжсвердловинний цілик" для розробки раціональних способів управління силовими і деформаційними процесами в руйнованому гірському масиві на стадії ініціювання з урахуванням крайових ефектів вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів.

Для досягнення цієї мети поставлено наступні **завдання**:

- встановлення закономірностей формування крайових ефектів при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів з метою підвищення ефективності дроблення гірської маси;

- удосконалення конструктивних елементів свердловинного заряду і параметрів розташування суміжних зарядів для перерозподілу енергетичних потоків ав області перебуру та на рівні набійки;

- обґрунтування технології підривання із забезпеченням стабільної детонації свердловинних зарядів з урахуванням прийнятого типу ВР і умов їх ініціювання в системі;

- рішення методичних питань застосування розроблених рекомендацій для реалізації основних і допоміжних елементів вибухових робіт з метою підвищення якості масового руйнування скельних порід в умовах розробки схилових родовищ.

Об'єктом дослідження є детонаційні та деформаційні процеси при дії вибуху промислового свердловинного заряду в гірському масиві.

Предметом дослідження є закономірності комплексного впливу конструктивних елементів свердловинних зарядів складної архітектури на формування крайового і загального механічного ефекту масових вибухів в умовах родовищ на гірських схилах.

Методи дослідження. Поставлені в дисертаційній роботі завдання реалізуються методами аналізу сучасних уявлень про напрямки і прийомах регулювання механічного ефекту вибуху свердловинного заряду, застосуванням методів математичного моделювання динамічних процесів при вибуху зарядів складної конфігурації, теоретичними і прикладними методами управління енергетичним потоком в процесі збудження і протікання детонації подовженого заряду з урахуванням , взаємовпливу детонаційних і нестационарних хвильових процесів при веденні масових вибухових робіт, методами статистичного та техніко-економічного аналізу отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів, винесених на захист, представлена науковими положеннями, в яких вперше:

- аналітично та експериментально встановлено, що компенсація втрат енергії в торці свердловинного заряду внаслідок зміни симетрії силового поля можлива шляхом збільшення маси торцевої частини заряду в 1,5...1.7 рази, застосування у торцевій частині заряду більш потужної ВР, вдосконалення архітектури нижнього торця свердловинного заряду застосуванням бойовика спеціальної форми з метою переорієнтації потоку енергії вибуху у бік кутової зони дна свердловини;

- аналізом результатів математичного моделювання та аналітичних розрахунків механічного ефекту вибуху конічного заряду виявлено явище формування силового поля грушоподібної форми з домінуючим напрямком розвитку по нормалі до похилої бічної поверхні конічного заряду, який в якості проміжного ініціатора, розташованого співвісно з основним зарядом, здатний разом з вибухом основного заряду формувати по периметру кутової донної частини свердловини деформовану зону глибиною близько 90см для подальшого розвитку радіально-кільцевої тріщини, виключаючої потребу в перебуді;

- аналітично та експериментально встановлено, що управління механічним ефектом вибуху конічного заряду як проміжного ініціатора в умовах нижнього ініціювання можливе шляхом призначення кута нахилу його бічної поверхні в раціональному діапазоні 60° ... 70° для орієнтації домінуючого енергетичного потоку в напрямку кутової зони свердловини на рівні підосви уступу;

- визначено характер зміни маси торцевої частини свердловинного заряду від базових показників – діаметра заряду, його довжини, типу ВР в заряді, параметрів розташування зарядів в системі та встановлено їх раціональні значення, які дозволяють скоротити на 30-40% енергетичні втрати в торцях заряду, пов'язані з проявами крайового ефекту вибуху;

- обгрунтовано механізм послідовного руйнування породного блоку вибухом на рівні набійки, який формує над торцями свердловинних зарядів

воронкоподібні зони розпушення з показником дії вибуху $n = 0.6$ і в умовах нижнього одночасного підривання суміжних зарядів, об'єднаних в групу, породжує зустрічні похилі хвильові фронти, що взаємодіють в режимі вертикального клинового врубу, формуючи за рахунок ефекту масових зіткнень додаткову область руйнування частини верхнього шару уступу.

Практичне значення результатів роботи.

Запропоновано конструкцію донної частини свердловинного заряду за участі потужного проміжного ініціатора у формі оберненого усіченого конуса з метою формування радіально-кільцевої тріщини в дні свердловини на рівні підосви уступу, яка забезпечила в промислових умовах ліквідацію потреби в перебуді.

Розроблено рекомендації з управління торцевим ефектом вибуху свердловинного заряду в поєднанні із застосуванням комбінованої схеми короткосповільненого висадження груп зарядів і одночасного підривання суміжних зарядів в групах для створення зустрічних масових рухів і відповідного зіткнення мас за принципом вертикального клинового врубу, які дозволяють вирішити проблему ефективного і безпечного розпушування приповерхневого шару породи на рівні набійки, що забезпечує сумарне зниження виходу негабаритної фракції на 5%.

Розроблено рекомендації щодо розрахунку та призначення параметрів масового вибуху системи свердловинних зарядів обмеженої довжини в умовах нагірних родовищ для умов відсутності обмежень по сейсміці, або з умовою застосування контурного підривання. Запропоновані інженерні рішення використано в практиці ведення масових вибухів при розробці Човдарського родовища сульфідних і окислених рудних кварцитів із загальним економічним ефектом, еквівалентним 2050,3 тис. грн на рік. Результати наукових досліджень автора використано в навчальному процесі на кафедрі геоінженерії при складанні курсів «Руйнування гірських порід» ТА «Проектування вибухових робіт»

Особистий внесок автора у наукові праці, опубліковані у співавторстві: [1] – обґрунтування способу попередження деформаційних явищ в пасивному суміжному заряді; [2] – участь в експериментальних дослідженнях та інтерпретації результатів вимірювань; [3] – проводив аналітичні розрахунки параметрів воронкоутворення; [4] - участь в аналізі матеріалів математичного моделювання, [5] - полягає у розробці мети і задач досліджень, наукових положень і висновків; проаналізовано результати математичного моделювання силового поля від вибуху зосередженого заряду у формі усіченого конуса; експериментально вивчено залежності механічного ефекту вибуху зарядів складної конфігурації в скельних гірських породах і стисливих ґрунтах; вивчено закономірності прояву крайового ефекту вибуху подовженого заряду обмеженої довжини і особливості взаємодії системи зарядів з урахуванням застосовуваних засобів за способу нижнього ініціювання, параметрів зарядів та їх розташування в системі, послідовності підривання зарядів у системі та груп зарядів.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень доповідались на IV Всеукраїнській науково - практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів" Житомирського державного технологічного університету ". – 2017. – Житомир: ЖДТУ; на IX міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина (конференція молодих вчених, аспірантів і магістрантів) – Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2017; на 30-й та 31-й Міжнародних конференціях "Blasting Techniques – 2018, 2019", Stara Lesna.- Slovakia.- 2018, 2019pp.; на XVI Міжнародній науковій конференції IPOEX 2019 «Explosives Research-Application-Safety», Ustron Zawodzie 2019; на Міжнародній конференції «Проблеми геоінженерії і підземної урбаністики», присвяченій 120-річчю

КПІ 17-18 травня 2018г., Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського; на IV Міжнародній науково-практичній конференції "Хімічна технологія: наука, економіка і виробництво", 14-16 листопада 2018г., Сумський державний університет, м. Шостка; на наукових семінарах кафедри геоінженерії ІЕЕ.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 11 наукових працях, з яких – 4 - у спеціалізованих наукових виданнях, 4 - у матеріалах міжнародних і зарубіжних конференцій, 1 - в зарубіжній монографії, 2 - в наукометричних виданнях, в т.ч 1 – в зарубіжному періодичному виданні.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МАСОВОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

1.1. Визначальні чинники ефективності подрібнення гірських порід масовим вибухом

Розробка способів підвищення ефективності використання енергії вибуху з метою якісного подрібнення гірських порід потребує знання закономірностей їх руйнування в зв'язку з природою, параметрами, режимом прикладання вибухового імпульсу до руйнованого середовища та зональності формування кінцевого механічного ефекту вибуху свердловинного заряду як в радіальному напрямку, так і по висоті заряду..

Незалежно від типу вибухової речовини і параметрів середовища існують спільні ознаки механічного ефекту вибуху, що проявляються в більшому або меншому ступені. Прояви руйнівної сили вибуху завжди мають зональний характер, їх послідовність завжди однакова, а інтенсивність проявів, їх масштаби та співвідношення між розмірами і характеристиками зон залежать переважно від деформаційних властивостей середовища. Вибух породжує потужну ударну хвилю, яка створює в масиві зону передруйнування. Розширюючись, гази виконують роботу з переміщення окремих породних мас за певною системою, стикаючи їх між собою і подрібнюючи. Техніка управління якістю подрібнення може передбачати втручання в цей процес на різних стадіях, починаючи з перших мікросекунд вибуху на рівні детонаційних явищ і закінчуючи взаємними переміщеннями породних мас та їх зіткненнями. Сучасна наука про вибух володіє значним науковим арсеналом та практичним досвідом керування інтенсивністю, рівномірністю та послідовністю вибухового руйнування гірського масиву.

Механізм руйнування гірських порід вибухом виглядає як послідовність в часі і просторі руйнівних процесів: формування зони

пластичних деформацій на контакті з зарядом під дією ударної хвилі та високої температури вибуху, далі широкої зони радіального тріщиноутворення під дією хвилі напружень. Ця зона є основним об'єктом уваги технологів. Далі практично одночасно формуються в протилежних напрямках дві зони – зона розвантаження, або зона тангенціальних відривних тріщин, прилегла до вибухової порожнини, і широка зона сейсмічних коливань, яка поширюється за межами зони радіальних тріщин і характеризується зародженням сімейства пружних хвиль [23, 26, 64]. На стадії утворення радіальних тріщин долучається руйнівна дія газоподібних продуктів детонації (ПД). Якщо хвиля напружень фактично знеміцнює масиву породи, то газоподібні продукти детонації, розширюють радіальні тріщини та відривають частину масиву і переміщують її в потрібному напрямку, створюючи умови для зіткнення об'ємів гірської маси. Таким чином, за зародження системи радіальних тріщин відповідає падаюча хвиля напружень, інтенсивність якої перевищує межу міцності породи, а розвиток цих тріщин і подальше дроблення відбувається за участі газоподібних продуктів вибуху. Тангенційні тріщини відриву утворюються хвилею розвантаження, що спричиняє зворотний рух деформованого масиву на вибухову порожнину. Отже, у більшості робіт під механізмом руйнування гірських порід вибухом дослідники розуміють співіснування перелічених явищ [24, 26].

Ефективність роботи вибухового імпульсу залежить не лише від детонаційних характеристик заряду ВР, але визначається і умовами, в яких працює заряд. За розташуванням заряду в середовищі його дія може характеризуватись як:

повністю камуфлетна, що спрямовує енергію вибуху на подрібнення середовища без видимих пошкоджень поверхні масиву,

вибух викидання, що в потрібному співвідношенні розподіляє енергію вибуху на руйнування масиву та його переміщення з утворенням воронки викидання,

вибух контактний або накладний, метою якого в гірництві є використання бризантних властивостей накладного заряду для руйнування окремих породних брил або блоків без застосування бурової техніки.

Звичайно, ці три перелічені дії зарядів мають перехідні варіанти. В кожному з них певну роль відіграють в більшому або меншому ступені хвильові явища та поршневий механізм руйнування.

Оскільки робота присвячена головно вирішенню прикладних питань масового подрібнення порід в умовах відкритих гірничих робіт, об'єктом дослідження є широко застосовувані вертикальні свердловинні заряди обмеженої довжини. При цьому слід більш детально розглянути такі умови ведення вибухових робіт, як наявність та кількість вільних поверхонь і особливості роботи окремих ділянок свердловинного заряду на уступі. Відомо, що проектування параметрів розташування системи свердловинних зарядів в умовах масового багаторядного підривання починається з визначення основного параметра – лінії опору по підосві (ЛОПП). Через цей параметр в подальшому визначаються відстань між рядами та відстань між свердловинами в ряду, масу та конструктивні особливості подовженого заряду.

Слід, однак, підкреслити, що умови роботи першого ряду свердловин помітно відрізняються від таких для наступних рядів зарядів, оскільки він діє на дві вільні поверхні – похилу бічну та верхню горизонтальну. Оскільки свердловинний заряд у його верхній і нижній частинах взаємодіє з частинами масиву різного ступеня порушеності, умови роботи зарядів першого ряду найбільш складні. Нижня частина заряду в області перебуру підривається в умовах повного камуфлету, середня частина – в умовах,

наближених до камуфлету, верхня – в умовах роботи заряду ослабленого викидання.

Таким чином, окремий подовжений заряд працює по глибині в принципово різних умовах і забезпечує цілком відмінний за механізмом процес руйнування в різних ділянках руйнованого блоку. Найпростішим і найдоступнішим показником якості масового вибуху є процент виходу негабаритної фракції в розвалі зруйнованої породи. На жаль, він усереднює дані руйнування, тобто є показником, який не здатний диференціювати розподіл негабариту в породному розвалі по висоті уступу.

У відомих уявленнях про особливості руйнування породного масиву в цих зонах висаджуваного блоку найчастіше віддається перевага хвилевому механізму руйнування, в якому певна роль відводиться відбитим від вільних поверхонь хвилям. Однак не слід ігнорувати роль обох динамічних чинників – хвилі напружень і поршневої дії вибуху. Міцність гірської породи як інтегральний показник її опірності руйнуванню, визначає ступінь участі цих чинників в механізмі розвитку деформаційного процесу. Зрозуміло, що в міцних і крихких породах хвилеві явища мають превалювати в початковому тріщиноутворенні. Можна припустити, що в нижній частині свердловинного заряду переважає роль хвильових явищ в загальному деформаційному процесі. В середній основній частині два чинники взаємно доповнюються, у верхній частині, очевидно, починає превалювати поршневий чинник, хоча деякими науковцями [1.24] вважається можливою превалююча роль хвильових процесів в руйнуванні більш ослабленого верхнього шару на рівні набійки.

Складність картини руйнування зростає внаслідок застосування техніки короткосповільненого підривання свердловинних зарядів, об'єднаних в групи або ряди за відповідними схемами. Це суттєво підвищує можливості управління якістю подрібнення порід та одночасно ускладнює можливість комплексного наукового узагальнення закономірностей, що

визначають кінцевий механічний ефект. Важко визначити окремо роль кожного параметра середовища та детонаційних характеристик джерела вибуху в загальному процесі вибухового руйнування, тому науковці і фахівці вибухової справи нерідко дотримуються різних підходів і думок щодо ролі і

важливості широкого спектра параметрів буропідричних робіт, таких як міцність порід, зв'язана з нею тріщинуватість породи, відповідна питома витрата ВР. Звідси витікає призначення раціонального діаметра вибухових свердловин, в свою чергу обирається лінія опору по підшві, параметри розташування зарядів в групі та груп зарядів, тобто відстань між свердловинами в ряду, відстань між рядами. схема та послідовність підривання.

Дещо осібно розглядаються конструктивні особливості заряду (довжина перебуру та набійки, їх конструкція, засоби і способи розосередження заряду, умови ініціювання та ін.) як чинники управління якістю вибуху [2, 11, 34, 74, 90, 94]. Одночасно слід віддати належне дослідженням, пов'язаним з встановленням ролі таких вагомих чинників як детонаційні характеристики промислової вибухової речовини в заряді, величина ініціюючого імпульсу, послідовність ініціювання частин заряду та зарядів у системі, та ін.[61 ,67,74].

Чисельні експериментальні дослідження свідчать [3-8], що в залежності від фізико-механічних властивостей і структурних характеристик висаджуваних порід визначається їх реакція на дію початкового механічного імпульсу. При цьому ефективність руйнуючої дії вибухового імпульсу, тобто інтенсивність руйнування гірської породи щільно пов'язана не просто з параметрами вибухового імпульсу (максимальним тиском на фронті хвилі і часом її дії на середовище), а й з співвідношенням між цими параметрами. Будь-яка гірська порода характеризується більшою або меншою інерційністю відповіді на дію імпульсу і частіше потребує не

настільки високого напруження на фронті, як протяжного в часі динамічного навантаження. Це більше стосується порід з ознаками в'язкості і менше – крихких міцних порід.

Як показує досвід досліджень, переважаючими з двох основних чинників є властивості породи, а саме – її акустичні характеристики, що входять до складу поняття «акустичний імпеданс» або акустична жорсткість. Величина акустичного імпедансу визначається множенням густини породи на швидкість поздовжньої пружної хвилі, або:

$$A = \rho c_p. \quad (1.1)$$

В певній мірі ці величини взаємно пов'язані: чим слабша за міцністю порода, тим менша її густина і відповідно менша швидкість поздовжньої пружної хвилі. Густина або щільність породи не залежить від інтенсивності прикладеного до породи вибухового імпульсу, будучи її природною характеристикою. Так само і другий параметр, швидкість пружної хвилі – це динамічна характеристика, пов'язана з міцнісними модулями руйнованого середовища. Обидва наведених чинники недостатні для встановлення очікуваних результатів дроблення конкретного гірського масиву. Більш інформаційною в цьому сенсі є залежність [17]:

$$\sigma_{r \max} = \rho v_{\max} c_p, \quad (1.2)$$

де ρ – густина породи, кг/м³; $v_{\max} = \frac{1000}{r^n}$ – масова швидкість породних часток на відстані r від заряду, м/с; $n = 1,8 - 2,0$.

В цій залежності присутній важливий параметр - масова швидкість, що в певній мірі пов'язана з деформаційним процесом руйнованого масиву. Лише за умови перевищення значення масової швидкості над граничною, що характеризує межу її міцності, відбуваються незворотні деформаційні процеси. Складність прогнозування механічного ефекту вибуху в конкретному середовищі визначається вже відміченою реакцією породи на дію вибухового імпульсу. Отже, первинним є добір параметрів вибухового

імпульсу у відповідності до характеристик середовища, а параметри імпульсу регулюються такими чинниками, як тип промислової вибухової речовини, потужність проміжного ініціатора (бойовика), місце його розташування в заряді, співвідношення акустичних імпедансів в парах «бойовик – заряд» та «заряд - гірська порода» [17].

В реальних умовах ефективність ініціювання подовженого заряду багато залежить від механізму переміщення детонаційного фронту по заряду і від механізму передачі вибухового імпульсу середовищу. Від співвідношення швидкостей детонації подовженого заряду і швидкості поширення фронту хвилі напружень в породному масиві залежатиме напрямок поширення цього фронту по породі. Згідно з [35] через нижнє розташування бойовиків у подовженому заряді створюються найбільш сприятливі умови для подовження часу дії вибуху на середовище, що дозволяють поліпшити дроблення породи на 15-20% та одночасно запобігти підвищеному розкиданню породи у верхній частині уступу. На останнє слід звернути особливу увагу стосовно досліджуваних в роботі умов підривання, пов'язаних з розробкою родовищ на гірських схилах.

У відомій практиці масових вибухів систем свердловинних зарядів поширені пошуки різних схем їх ініціювання, які можна поділити на такі групи – з точковим, багатоточковим та лінійним ініціюванням.

В роботі [35] описано перспективи застосування ініціюючої нитки ДШ у вигляді спіралі різної конфігурації. При підриванні свердловинних зарядів з одного типу ВР запропоновано застосовувати спіраль із постійним кроком між витками, або із зменшенням кроку між витками з віддаленням від місця ініціювання шнура. Така конструкція призводить до збільшення концентрації ініціатора в заряді і зростання величини ініціюючого імпульсу. Вважається, що змінний крок спіралі може бути особливо ефективним в зоні перебуру, або на рівні включень та пропластків з більш міцними механічними характеристиками. Окрім цього, наявність

спірального ініціатора принципово змінює напрямок поширення ініціюючого імпульсу з осьового при лінійному і точковому ініціаторах на радіальний, тобто викликає ефект поперечної детонації. В останньому випадку відбувається падіння імпульсу по нормалі до стінки зарядної свердловини, що вважається найбільш оптимальним з точки зору передачі імпульсу в середовище.

. Однак застосування ДШ мало спільну ваду, що полягала в негативному впливі його вибуху на ВР в промисловому заряді. Хоча стосовно більшості низькочутливих аміачно-селітрових сумішей типу ANFO енергії вибуху самого детонуючого шнура недостатньо для їх ініціювання, його негативний вплив виражається в обгорянні ВР на контакті з ДШ, утворенні порожнини в заряді вздовж лінії ДШ та у надлишковому стисненні вибухової речовини. Ці явища призводять до непередбачуваної зміни її детонаційних характеристик та відповідно - до зменшення частини енергії вибуху, спрямованої на корисну роботу, тобто на ефективне руйнування гірського масиву.

Щодо вибору способу ініціювання, слід звернути увагу на особливості формування так званої зони розгону, що прилягає до бойовика і передуює формуванню зони стабільної детонації на шляху поширення детонаційного процесу, та на наслідки її розвитку в осьовому чи радіальному напрямках. При безпосередній передачі ініціюючого імпульсу від збудника детонації - бойовика до заряду низькочутливої ВР, особливо місцевого приготування в часі збудження детонації в районі бойовика виникає зона нестабільної детонації, в якій на певному відрізку довжини заряду швидкість детонаційного процесу генерально або знижується або зростає до характерного для даної ВР рівня, тобто стабілізується. Ця зона стабілізації по довжині складає 2...10 діаметрів заряду. Якщо застосовується точкове ініціювання, лише невелика частина заряду попадає в цю нестабільну зону. Але якщо застосовується лінійний, тобто співвісний з зарядом бойовик,

змінюється напрямок поширення детонаційного процесу з осьового на радіальний, тобто весь заряд може знаходитись в зоні нестабільної детонації. Особливо це явище характернее для випадку, коли замість ДШ застосовуються шлангові заряди у якості осьового бойовика.

Згідно з дослідженнями характеру передачі енергії ініціюючого імпульсу в прилегле середовище на межі поділу «бойовик – середовище» відбуваються процеси [17], подібні процесам фомування відбитих та переломених хвиль в акустиці. Переміщення детонаційного фронту через межу розподілу середовищ супроводжується втратою певної частини енергії ініціюючого імпульсу, яка умовно характеризується коефіцієнтом екранування хвиль, що виражається співвідношенням [55]:

$$K_{\text{екр}} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} = \frac{(A_1 + A_2)^2}{4 \cdot A_1 \cdot A_2}$$

де K_1 й K_2 – коефіцієнти рефракції хвилі на границі поділу середовищ;

$A_1 = \rho_1 \cdot D_1$, $A_2 = \rho_2 \cdot D_2$ – акустичні імпеданси бойовика і ВР;

ρ_1, ρ_2 – значення щільності бойовика і промислової ВР, кг/м³;

D_1, D_2 – швидкості детонації бойовика та ВР, м/с.

Використовуючи експериментальні дані, отримані для різних за детонаційними характеристиками пар «бойовик - ВР», автор [17] встановив, що існують енергетично оптимальні сполучення вибухових речовин у парі. Це означає, що в успішності передачі енергії бойовика в промислову ВР надзвичайно важливу роль відіграє співвідношення акустичних імпедансів ініціатора та ініційованої ВР. При істотному розходженні за величиною цих імпедансів можливе суттєве початкове падіння швидкості детонації ініційованої ВР внаслідок високого коефіцієнта відбиття енергії ініціюючого імпульсу, внаслідок чого росте втрата енергії ініціатора. В роботах [17,34] рекомендується попередити ці втрати шляхом:

збільшення маси бойовика; за рівних мас бойовика слід віддавати перевагу його більшому діаметру, оскільки при цьому поліпшується динаміка переходу енергії ініціюючого імпульсу основному зарядові;

зміни акустичного імпедансу бойовика;

зміни форми бойовика.

Максимальний ефект передачі енергії бойовика зарядові згідно з даними [17,34] досягається при співвідношенні акустичних імпедансів бойовика і заряду в межах 2...2,5. Щодо форми бойовика, в цитованій роботі досліджено ефективність бойовика у формі спіралі детонуючого шнура, яка в залежності від кроку та діаметра витка спіралі забезпечує потрібний кут падіння детонаційного фронту в основному заряді на стінку свердловини. Таким чином досягається максимальний ефект переломлення детонаційної хвилі в руйноване середовище. Однак застосування в якості проміжного ініціатора однієї або кількох ниток детонуючого шнура має переважно наукове значення. І технологічно, і економічно такий бойовик не завжди здатний конкурувати з традиційним бойовиком у вигляді тротилової шашки або наважки розсипної ВР. Крім того, ТЕН в якості ВР в конструкції ДШ за детонаційними, а отже, і акустичними характеристиками виводить співвідношення імпедансів ВР пари «бойовик - свердловинний заряд» за межі рекомендованого вище діапазону.

В розвиток цих досліджень розглядаються можливості застосування багатоточкового ініціювання свердловинного заряду [31, 58, 78]. В цьому випадку в залежності від розташування точок ініціювання в заряді система моделює або лінійний ініціатор (бойовики розташовуються вздовж заряду), або точковий ініціатор складної форми, що складається з трьох бойовиків, розташованих в заряді у вигляді прямого чи оберненого трикутника [58]. Щодо осьового багатоточкового ініціювання, найбільш раціональним є застосування двохточкової каскадної схеми, метою якої є підсилення в

поперечному (радіальному) напрямку детонаційного імпульсу на заданій глибині свердловини – або на рівні підосви уступу, або на горизонті залягання прошарку більш міцної породи [78]. За цією схемою два бойовики розташовуються послідовно на осі свердловинного заряду на потрібній глибині. За триточновою схемою бойовики мають розташовуватись у вершинах трикутника, вписаного в поперечний переріз свердловини [58].

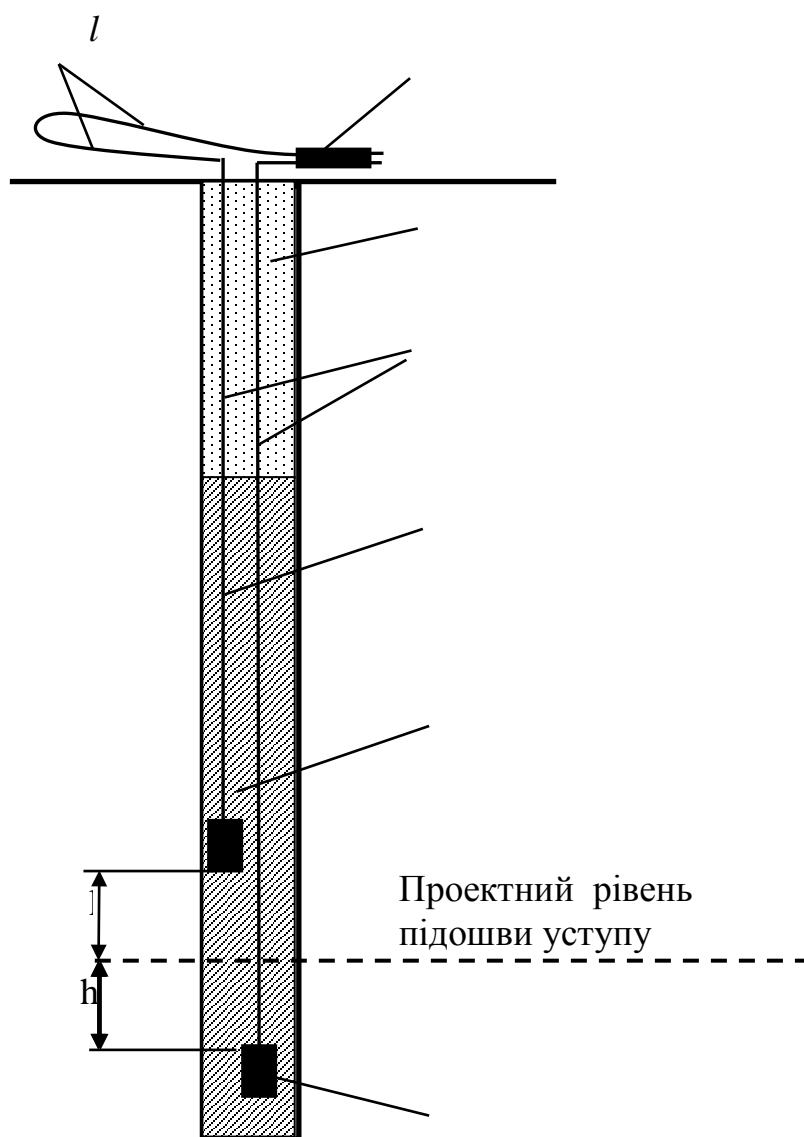


Рис. 1.2 Конструкція свердловинного заряду зі спареними бойовиками: 1 – набійка; 2 – детонуючі хвильоводи; 3 – верхній бойовик; 4 – свердловинний заряд ВР; 5 – нижній бойовик; 6 – поверхневий з'єднувач хвильоводів [31,78]

Двоточкова і трьохточкова схеми призначені переважно для вирішення проблеми, пов'язаною з перебуrom, коли необхідно скоротити його глибину та одночасно створити умови для формування горизонтальної площини відриву в підшві уступу. На жаль, плоска триточкова схема ускладнюється тим, що вона важко реалізується на практиці та не забезпечує симетричного відносно осі заряду об'ємного розвитку детонаційного фронту, а значить, відповідно і симетричного силового поля. Крім того, в цій схемі кожен проміжний ініціатор, або кожна конструктивна складова бойовика потребує окремого приєднання до ділянкової магістралі, що разом значно ускладнює виконання зарядних робіт і підвищує витрати на БВР. На наш погляд, за технологічними та економічними показниками слід замість складної ініціюючої конструкції виготовляти з тротилу один бойовик відповідної архітектури, який за раціонального його розташування в заряді виконуватиме одночасно кілька функцій.

1.2. Вдосконалення конструктивних елементів свердловинного заряду

Як відзначено вище, при точковому ініціюванні свердловинного заряду конструкція та позиція бойовика в заряді здатні вирішувати завдання, пов'язане з ефективною обробкою зони масиву в донній частині свердловини з метою скорочення величини перебуру. Відомі дослідження, пов'язані з використанням кумулятивного ефекту для рішення цього завдання. Наприклад, в [52,54,58,60,79,81,85] пропонується формувати подовжений заряд з кумулятивною виїмкою, в тому числі шляхом використання спеціальних вставок в заряд, які створюють ефект кумуляції в осьовому напрямку. Отримання такого потужного осьового струменя за даними авторів покращує руйнування гірської породи вибухом, особливо якщо розмістити кумулятивні пристрої зустрічно [21, 30]. В останньому

випадку взаємодіючі кумулятивні струмені поширюють руйнуючу дію більш глибоко в прилеглий до свердловини масив.

Імітувати кумулятивний ефект можливо шляхом зміни форми зарядної порожнини, надаючи їй в поперечному перерізі трикутної, квадратної або прямокутної форми) [72, 91]. Відбиваючись від стінок зарядної порожнини при вибуху основного заряду, енергетичні потоки зустрічаються в кутах такого перетину і формують кумулятивні явища, які підсилюють дію заряду в радіальному напрямку. Зрозуміло, що дані рішення мало придатні для масових вибухів через складність конструювання цієї системи. Спрощений варіант формування кумулятивного ефекту запропоновано авторами патентної розробки [16]. Сутність цієї розробки полягає у розміщенні вздовж свердловинного заряду (СЗ) гірлянди пустотілих ємностей, які під час вибуху СЗ генерують складну картину взаємодії продуктів вибуху в зарядній порожнині. Цю картину автори бачать як імітацію кумулятивного ефекту. На жаль, масове застосування таких гірлянд ускладнює технологію зарядних робіт та змінює в гіршу сторону склад продуктів вибуху. Крім того, це рішення стосується основної частини циліндричного заряду і не вирішує питань, пов'язаних з ефективністю його вибуху в торцевих або кінцевих ділянках[80]..

Відомі конструктивні розробки в цілому стосуються рішення з динаміки формування механічного ефекту в трьох більш або менш проблемних ділянках свердловинного заряду, а саме – в нижній його частині, прилеглий до перебуру, основній частині заряду та верхній частині, яка відповідає за руйнування породного масиву на рівні набійки,

Оскільки в розрахунках технологічних параметрів масового вибуху розглядається об'єм руйнованої породної призми $V_{\text{п}}$, що в умовах масового вибуху приходить на один заряд Q , питома витрата вибухової речовини в заряді q розраховується як усереднена величина для всього уступу:

$$Q = Q / V_{\Pi}, \text{ кг/м}^3.$$

Цей важливий параметр дозволяє оцінити в цілому якість масового вибуху, але не здатний характеризувати картину фактичного розподілу енергії вибуху по колонці свердловинного заряду, яка насправді працює по висоті в суттєво нерівних умовах. При проектуванні параметрів масового вибуху окремо враховуються умови роботи заряду поблизу проектною підосви уступу та умови закладання верхнього торця заряду відносно поверхні руйнованого блоку. Ці дві області фактично визначають конструктивні елементи системи зарядів при проектуванні масового вибуху, хоча оцінити їх ефективність в загальній картині розвалу породи на практиці важко. Єдиним поширеним мірилом якості масового вибуху залишається загальний вихід негабаритної фракції без його поділу на зони впливу лінійних елементів заряду. Але навіть в таких невизначених умовах наука і вибухова практика визнає важливість кінцевих частин свердловинного заряду та особливо в останні роки приділяє цим ділянкам заряду особливу увагу [15, 24, 26, 28, 30, 32, 33, 52, 63, 83] .

Як викладено вище, одним з вагомих чинників регулювання механічного ефекту вибуху, особливо в проблемних кінцевих частинах свердловинного заряду, є призначення місця його ініціювання. Виходячи з усталеної в останні роки практики ведення вибухових робіт на кар'єрах, визнано за ефективне і впроваджується завдяки системі типу Нонель нижнє ініціювання зарядів. Нижній проблемній зоні руйнованого уступу в дослідженнях приділено значну увагу і відповідно розглянуто низку засобів формування механічного ефекту в області перебуру.

Традиційно в умовах уступів висотою понад 10,0 м передбачається застосування патронів – бойовиків в обох кінцевих частинах заряду. Однак, виходячи з особливостей ведення сучасних масових вибухів із застосуванням короткосповільненого підривання на основі системи типу Нонель, детонація бойовиків в свердловинному заряді відбувається

послідовно знизу, з інтервалом сповільнення до 500 мс, тобто основна відповідальність покладається на нижній бойовик. Верхній бойовик в разі успішної детонації заряду лише підсилює його дію в області набійки. Правда, таке підсилення не завжди доречне, оскільки збільшує небезпеку посиленого розкидання кусків породи. Тому в цих умовах слід коригувати параметри набійки з метою ослаблення дії верхнього кінця заряду.

Досліджувані параметри БВР на масових вибухах в умовах нагірних родовищ в більшості стосуються зиженої висоти уступу, яка за рахунок рельєфу змінюється в межах 6...5 м і навіть до 3-х метрів на одному масовому вибухові. В таких умовах достатньо встановлення лише нижнього бойовика. Відсутність верхнього бойовика в цих умовах не має позначитись на якості руйнування, оскільки через підвищену природну порушеність масиву приповерхневих порід на гірському схилі зона на рівні набійки потребує більш обережного підривання, і тому заслуговує не меншої уваги, ніж зона на рівні перебуру. Призначення раціональних параметрів набійки вирішує одночасно кілька завдань. Головною з них є забезпечення надійного запирання вибухових газів в зарядній камері на час їх корисної роботи – руйнування масиву. Завдяки цьому більш повно протікають вторинні реакції розкладу ВР, збільшується тривалість дії тиску газів на стінки вибухової камери, а в подальшому на поверхню радіальних тріщин, створюються умови для розширення тріщин і примноження їх кількості. Більш повне взаємне хімічне реагування продуктів вибуху переважно забезпечує зменшення вмісту отруйних газів в пилогазовій хмарі [3, 4,19,20,27,36,37,41,44,45,82,89]. Так, лише завдяки ефективному затриманню продуктів вибуху в зарядній камері і відповідно більш повному використанню механічної роботи вибуху питома витрата ВР знижується на 20% [44]

Крім того, довжина набійки розраховується таким чином, щоб верхня частина свердловинного заряду працювала в режимі спущення, достатньому

для якісного подрібнення породи на рівні набійки. Нарешті, глибина залягання верхнього торця заряду повинна попередити можливість підсиленого розкидання окремих кусків породи.. Завдяки ефективній роботі набійки зменшується на 10...15% величина середнього шматка руйнованої гірської маси та радіус розлітання кусків породи - [45, 47]. Серед основних досліджень в цьому напрямку можна виділити вивчення закономірностей руху та деформування набійки під дією ударної хвилі і розширюваних газів, обґрунтування принципів і методів підвищення опірності набійки поршневій дії вибуху через підбір матеріалу набійки та її форми в свердловині [14, 18, 19, 27, 46, 47, 71], розробка конструктивних елементів активної набійки шляхом розміщення в ній малих наважок ВР або детонуючого шнура [77] .

Теоретичні та експериментальні дослідження динаміки взаємодії продуктів детонації з матеріалом набійки [13] за різної форми поверхні контакту її нижнього торця з зарядом свідчать про можливість затримки розвитку процесу її витиснення за межі свердловини до початку руйнування породного блоку. Цей ефект пояснюється перерозподілом сил на поверхні тіла набійки з їх спрямуванням убік стінки свердловини, що супроводжується збільшенням сили тертя матеріалу об стінку, призводячи до зростання часу її деформування та переміщення по свердловині. Розрахунки показують, що при цьому зменшуються витрати енергії вибуху на зародження та розвиток тріщин в руйнованому масиві [13].

Позитивом збільшення тривалості викидання набійки є зменшення у вибухових газах токсичних складових, які продукуються внаслідок неповного спалювання основних компонентів ВР. В роботах, виконаних з використанням шпурових зарядів [18,19], пропонується метод гальмування руху набійки матеріалом на основі твердуючої суміші, що в процесі твердіння розширюється. Експерименти свідчать, що така набійка збільшує час її вилітання на 0,6 с, одночасно за рахунок подовження тривалості дії

газів вибуху збільшується на 0,5 м радіус зони руйнування навколо шпура . Враховуючи масштаби масових вибухів і відповідно потреби в матеріалі, широке застосування таких матеріалів для набійки свердловинних зарядів стримується економічною складовою робіт. Таким чином, більш реальним є застосування методів покращення роботи набійки, оснований на конструктивних прийомах переважно без заміни матеріалу, яким в більшості є піщано-глиняста суміш.

Якщо зважити, яку роль відіграє матеріал набійки та динамічні процеси в набійці в часі її деформування під впливом падаючих та відбитих ударних хвиль на межі з верхньою відкритою поверхнею уступу, на нашу думку, нескладні конструктивні прийоми повинні бути пріоритетними. В якості прикладу застосування подібних прийомів наведемо дослідження на пластилінових моделях [13], Автор обрав пластилін для моделей, вважаючи, що через свою пластичність він практично виключає вплив цього чинника на результати досліджень. Вивчено одночасно три варіанти форми нижнього торця набійки (у вигляді циліндра з плоским торцем, конуса та півсфери) у взаємодії з верхнім торцем заряду у двох варіантах: розташованим впритул до заряду та з залишенням між набійкою і зарядом повітряного проміжку величиною $l_{\text{пн}} = 10 \text{ мм}$ і 20 мм .

В експериментах досліджувались 9 варіантів форми набійки при різних повітряних проміжках в системі «заряд - набійка». Результати експериментальних вибухів оцінювались шляхом вимірювання об'єму утвореної порожнини, Дослідно встановлено, що найбільший механічний ефект досягається в разі застосування торця набійки сферичної форми. Результати вимірювань об'єму вибухових порожнин свідчать про його зростання вдвічі в разі сферичної форми порівняно з плоским нижнім торцем циліндра і на 40% порівняно з конічним нижнім торцем набійки. Це, на погляд автора, є переконливим доказом збільшення часу взаємодії торця набійки з продуктами вибуху в цьому варіанті дослідів, що призводить до

збільшення тривалості розширення вибухових газів в ідеально пластичній моделі. Одночасно встановлено важливість повітряного проміжку між зарядом і набійкою. Раціональна висота проміжку склала 1,5 - 2,0 діаметра заряду. Спосіб конструктивно дещо ускладнює зарядні роботи в зв'язку з необхідністю створення повітряного проміжку, однак не потребує застосування нових набійних матеріалів, тобто майже не впливає на економіку робіт.

Подібні конструктивні рішення, відомі з наукової літератури, стосуються також способів регулювання механічного ефекту вибуху в нижній частині свердловинного заряду. Можна навести досвід досліджень [13], в якому доводиться можливість зміни напрямку дії продуктів вибуху свердловинного заряду завдяки залишенню між дном свердловини і нижнім торцем заряду прокладки з піддатливого матеріалу (можливо, бурового шламу) та повітряного проміжку.

Способи управління механічним ефектом вибуху базуються на урахуванні механізму руйнування гірських порід при вибуху. Ці способи реалізуються за кількома напрямками, згідно з якими управління можливе на стадії:

- детонаційного процесу в заряді промислової вибухової речовини через добір типу ВР, напрямку та умов ініціювання заряду;

- формування поля напружень та відповідних незворотних деформаційних явищ навколо свердловинного заряду;

- взаємодії силових та деформаційних полів в системі зарядів з урахуванням послідовності підривання груп зарядів в системі масового вибуху.

Широкий спектр методів формування механічного ефекту вибуху започатковується стадією збудження детонації промислового заряду, яка є надзвичайно важливою складовою будь-якої вибухової технології. Особливо це стосується технологій масового підривання, коли

застосовуються подовжені заряди відносно малочутливих вибухових речовин, в яких потрібно підтримувати стаціонарний рух детонаційного фронту. В таких умовах для підтримання детонаційного процесу застосовують спеціальні конструкції проміжних ініціаторів, встановлюють вздовж лінійного заряду систему таких ініціаторів, передбачають відповідну структуру заряду ВР та його конструкцію. На цій стадії потрібно забезпечити початковий детонаційний імпульс з відповідними силовими і часовими параметрами, який розвивається вздовж заряду у режимі самопідтримування.

На подальших стадіях робіт планування вибуху складається в конструюванні систем зарядів, схеми комутації вибухової мережі, послідовності ініціювання з призначенням оптимального часового інтервалу ініціювання груп зарядів, а також окремих зарядів в групах. В результаті реалізації перелічених прийомів в міжзарядному просторі формується складне і тривале за часом поле напружень та масових зрушень породи, які створюють умови для гармонізації процесу руйнування з механізмом формування імпульсних навантажень та переходом енергії вибуху в руйнований породний масив. На сучасному рівні розвитку вибухових технологій серед засобів ефективного перетворення енергії вибуху в корисну роботу значна увага приділяється конструктивним особливостям заряду та його складових.

1.3. Розвиток ефективних конструкцій подовженого заряду та постановка задач досліджень

Відомі способи досягнення високої ефективності вибухових робіт в скельних породах в значній мірі ґрунтуються на прийомах управління розподілом енергії вибуху в початковий його період, тобто з моменту хімічного розкладання заряду вибухової речовини до моменту передачі енергії масивові гірської породи.

Традиційні методи проектування параметрів масового вибуху можуть бути уподібнені процесові зведення споруди – від фундаменту до покрівлі. Аналогічно розробка параметрів масового вибуху починається з забезпечення в нижній частині уступу умов для отримання рівної підосви без порогів. В подальшому згідно з методикою проектування розробляються параметри розташування системи свердловинних зарядів задля забезпечення необхідного ступеня подрібнення гірської маси. Ці параметри автоматично переносяться на верхню частину уступу, звужуючи можливості керування якістю подрібнення породи в області набійки. В цій зоні нестійкого керування якістю подрібнення можливості інтенсифікації процесу обмежуються небезпекою некерованого розкидання окремих кусків породи. Цей чинник особливо важливий в умовах розробки родовищ на гірських схилах, коли висота уступу і довжина свердловинного заряду в значній мірі диктуються кутом нахилу поверхні схилу, який може досягати 45^0 . Техніка масового вибуху з появою неелектричних систем ініціювання, а саме, детонуючого хвилеводу, в останні 2 десятиліття широко використовує метод нижнього ініціювання. Цей метод має низку переваг, які в подальшому будуть розглянуті. З наведеного слідує, що руйнуючий чинник у верхній частині уступу починає формуватись з основи розроблюваного уступу.

Згідно з даними аналізу відомих наукових розробок і практики буропідливних робіт, в останні роки особлива увага приділяється можливостям управління детонаційним процесам в подовженому заряді, як найбільш поширеному в практиці гірничої справи. До конструктивних особливостей подовженого заряду в першу чергу відносять діаметр і принцип розосередження заряду, параметри перебуру і набійки, поєднання різних типів ВР в заряді, параметри і місце розташування проміжного ініціатора та ін. При цьому заряд розосереджується як по осі, так і в межах поперечного перерізу зарядної виробки. Рідше використовується метод

управління конфігурацією фронту детонаційної хвилі, що впливає на геометрію і послідовність взаємодії полів напружень в руйнованому масиві.

Практичні можливості цього методу реалізуються як в поздовжньому, так і в поперечному напрямку - в перерізі зарядної виробки. Що стосується теоретичного обґрунтування методу, в літературі є лише розрізнені дані, які в більшій мірі стосуються вивчення кумулятивного ефекту і застосування спірального ініціатора з нитки ДШ.

Значний інтерес в плані формування поля напружень і деформацій в прилеглому до заряду масиві являють прийоми замикання продуктів детонації шляхом застосування спеціальних форм і матеріалів набійки, використанням багатоточкового ініціювання, розосередженням подовженого заряду, застосуванням конусоподібних вставок та ін. Така різноманітність методів свідчить про важливість досліджуваного питання, досі не вирішеного повністю. Важливим елементом виконання гірничих робіт із застосуванням енергії вибуху є їх безпека, зокрема, склад продуктів детонації, який може в значній мірі визначатися умовами детонації заряду, тобто її повнотою в момент вибухового розкладання, а також повнотою використання виділеної енергії на корисні форми роботи.

В останні роки серйозна увага приділяється застосуванню економічно конкурентних сумішевих ВР з низькою швидкістю детонації, найбільш придатних для застосування в обережних методах підривання (при відділенні блочного каменю, дробленні негабаритних блоків, в різних видах контурного підривання і оконтурювання підземних виробок. Це особливо важливо в умовах розробки горішніх родовищ Азербайджану в умовах гірських схилів зі значним кутом нахилу поверхні. Через зміну рельєфу в межах одного руйнованого блоку спостерігається потреба в зменшенні на блоці висоти розроблюваних уступів. Такі зміни призводять до необхідності ведення підривних робіт системою коротких свердловинних зарядів, в яких істотну негативну роль відіграють торцеві явища деградації симетрії фронту

напружень (а відповідно і деформаційного фронту) з осьової до сферичної або подібної до неї.

У зв'язку з широким використанням техніки масового руйнування гірських порід з використанням енергії вибуху системи свердловинних зарядів в специфічних умовах схилових рудних родовищ в роботі передбачається виконання комплексу досліджень, пов'язаних з обґрунтуванням раціональних способів управління механічним ефектом вибуху свердловинного заряду обмеженої довжини в напрямках:

- розробки наукових основ і прийомів формування детонаційного фронту в подовженому заряді з урахуванням торцевих явищ, обумовлених виродженням циліндричного фронту хвилі напружень (і відповідно різного роду деформацій) умовно в сферичний в нижньому торці заряду, що вирішує проблему перебуру, і у верхньому торці, призначеному для енергоощадливого розпушування породного масиву в області набійки;

- урахування в архітектурі промислового свердловинного заряду конструктивних особливостей проміжного ініціатора (бойовика), місця його розташування в промисловому заряді, особливостей формування ініціюючого імпульсу в окремому подовженому заряді, специфічних крайових ефектів, пов'язаних з формою і масою проміжного ініціатора, лінійними параметрами свердловинного заряду та їх геометрією;

- вивчення закономірностей наступних взаємодій детонаційних і ударних хвиль при розвитку хвильової картини в міжсвердловинному цілику в часі в залежності від прийомів реалізації методу уповільненого підривання, їх впливу на розвиток деформаційних процесів в торцевих зонах свердловинних зарядів та в міжсвердловинному просторі.

РОЗДІЛ 2

ТОРЦЕВИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЕФЕКТ ХВИЛЬНОЇ ФАЗИ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ ОБМЕЖЕНОЇ ДОВЖИНИ

2.1. Природа і технологічне значення крайового ефекту вибуху свердловинного заряду обмеженої довжини

В межах розглянутих вище напрямків розвитку вибухових технологій в роботі спрямовано основну увагу на специфіку проектування і ведення масових вибухів в умовах нагірних родовищ, які розробляються на схилах різної крутизни подібно Човдарському родовищу сульфідних і окислених кварцитових руд (рис. 2.1, 2.2), де через значний перепад висот в межах одного блоку диктується необхідність зниження висоти уступу до 3...6 м. При цьому довжина заряду скорочується до 2...4 м.

Відомо [57], що в торцях циліндричного заряду порушується осесиметричний характер розвитку поля, котре набуває безпосередньо на рівні торцевої частини заряду та по осі за межами торців заряду форми, близької до півсфери. Таке явище теоретично досліджено [57] на прикладі вибуху циліндричного заряду з ініціюванням його в точці початку координат (рис. 2.3). Рух газоподібних продуктів вибуху реалізується в циліндричній системі координат і описується диференціальними рівняннями в часткових похідних, які вирішуються за допомогою числових методів [57]. Проведені розрахунки для циліндра із співвідношенням висоти до діаметру як 1:1 показали [57], що фронт ударної хвилі за формою близький до сферичного. Однак збільшення цього співвідношення змінює характер розходження продуктів вибуху. Так, при співвідношенні висоти заряду до його діаметру 4:1 (рис. 2.3) в початкові моменти силове поле виглядає як центральносиметричне (рис. 2.3,а). Проте в наступні моменти (рис. 2.3,б) воно витягується в бік верхнього торця заряду, мабуть, через переважання



Рис. 2.1 Загальний вигляд Човдарського кар'єру з розробки родовища на схилі



Рис. 2.2 Робочий борт Човдарського кар'єру

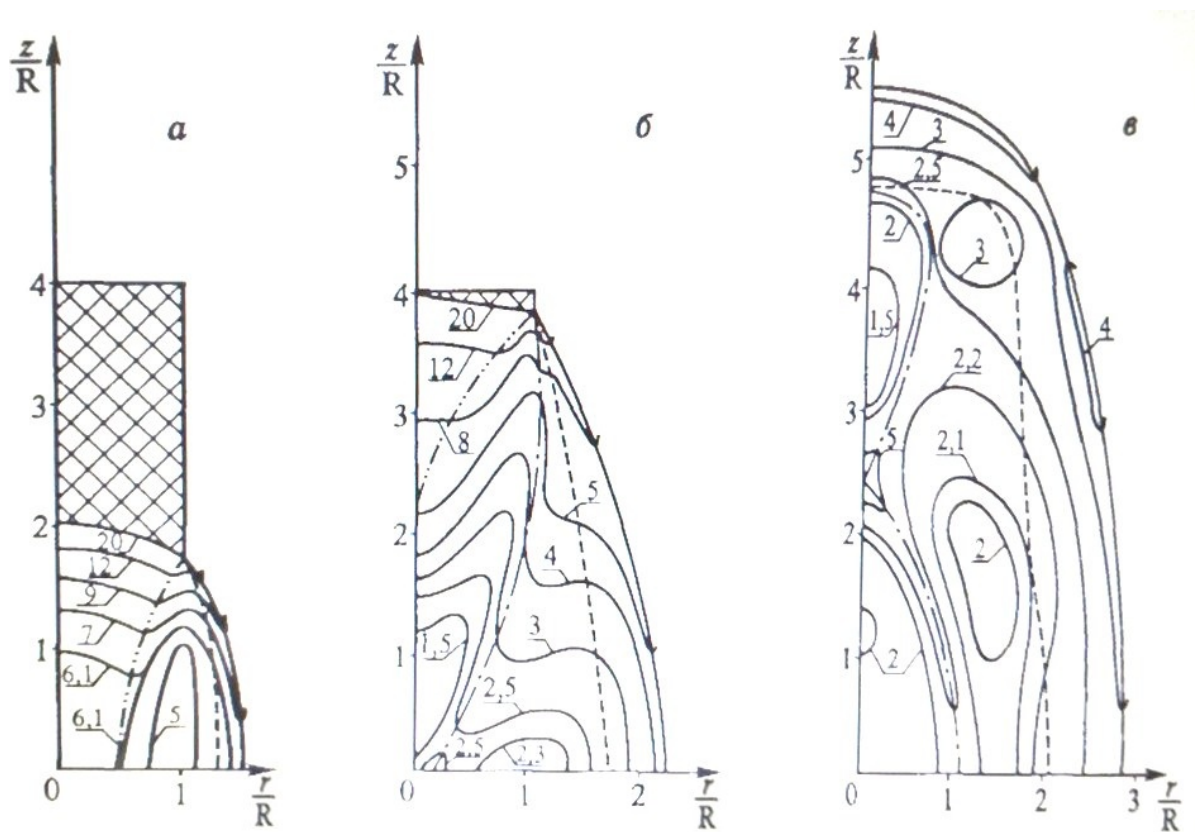


Рис. 2.3 Динаміка розвитку силового поля від вибуху короткого циліндричного заряду [57]

швидкості детонації в заряді по осі Z над швидкістю ударної хвилі в нетральному середовищі в напрямку осі R , Швидкість ПВ за межами заряду поступово згасає в пасивному середовищі через втрату енергії на пружні та незворотні деформації. Далі з розвитком процесу і виходом його над верхнім торцем заряду (рис. 2.3,в) форма поля знову стає подібною сферичній. Силове поле в осьовому напрямку після виходу за межі торця заряду втрачає 35...40% енергії у порівнянні з радіальним напрямком [57].

Внаслідок скорочення довжини свердловинного заряду стає більш істотною участь торцевих частин заряду, де втрачається енергія. Частково негативний вплив цього чинника можна компенсувати зменшенням діаметра заряду і відповідним коригуванням параметрів мережі розташування зарядів. Однак при тенденції застосування низькочутливих амміачно-селітрових ВР діаметр свердловини повинен призначатися

більшим від величини критичного діаметра, характерного для даного типу ВР, тобто існує технологічна межа зменшення діаметра заряду. Щодо малочутливих ВР на основі аміачної селітри, рекомендований діаметр циліндричного заряду має становити не менше 80...100 мм.

Отже, чим коротший подовжений заряд (при постійному діаметрі), тим більші сумарні дисипативні втрати енергії вибуху в області обох торців. Розглядаючи такі крайові ефекти в області дії свердловинного або шпурового заряду обмеженої довжини, слід враховувати відмінність і особливості прояву та розвитку цих ефектів в нижньому і верхньому торцях заряду. Нижня торцева частина заряду відповідає за зону перебуру з метою запобігання недобору або так званих порогів. Нижній торець свердловинного заряду, перебуваючи в максимально затиснутих умовах, зустрічає найбільший опір скельного масиву руйнуванню і відповідно вимагає першочергової уваги в дослідженнях.

Завдання, які стоять перед нижньою і верхньою торцевими ділянками, а також основною частиною циліндричного заряду, технологічно об'єднані однією метою - забезпечити необхідну якість подрібнення гірської маси при її підготовці до виїмки в межах призми, що припадає на один заряд. Однак, оскільки кінцеві ділянки свердловинного заряду знаходяться в нерівних гірничо-геологічних умовах, виконують різні додаткові функції і мають різне призначення, підхід до управління механізмом просторового формування механічного ефекту вибуху вздовж заряду відрізняється.

Завдання виконується в кілька послідовних стадій, з яких основною є стадія детонаційного розкладання системи «ініціюючий пристрій - проміжний ініціатор - промисловий заряд». На цій стадії, виконуваний протягом мікросекунд або перших мілісекунд після ініціювання, управління крайовими ефектами вибуху можливе лише за рахунок конструктивних рішень, і в першу чергу - за рахунок вибору місця ініціювання.

З появою сучасних неелектричних засобів ініціювання типу Нонель

став широко доступним метод нижнього ініціювання свердловинного заряду. Однак при нижньому ініціюванні не знімається питання скорочення величини перебуру. Для управління величиною цього параметра необхідні додаткові конструктивні рішення, здатні направити розвиток деформаційного процесу від свердловини вздовж підшви уступу. Слід відзначити, що розміщення бойовика (тротилової шашки або ін.) є допоміжним засобом посилення заряду в донній частині.

Керувати симетрією та формою силового поля в нижньому торці свердловинного заряду можна шляхом зміни форми самого торця заряду або зміни форми нижнього проміжного бойовика. Ці заходи мають сприяти розвитку силового поля і відповідних деформаційних процесів переважно в напрямку, що збігається з проектною площиною підшви уступу. Лише потрібно розробити прийоми, які дозволять одночасно компенсувати втрати енергії в торцевій частині короткого подовженого заряду і спрямувати цю енергію по площині підшви уступу з метою скорочення довжини або повної відмови від перебуру.

2.2. Аналітичні дослідження крайового ефекту при вибуху подовженого заряду обмежених розмірів

Відомі способи підвищення ефективності вибухових робіт в скельних породах в значній мірі ґрунтуються на прийомах управління розподілом енергії вибуху в початковий його період, тобто з моменту хімічного розкладання заряду вибухової речовини до моменту передачі енергії масиву гірської породи. Управління детонаційними процесом в подовженому заряді досягається за рахунок конструктивних рішень, до яких в першу чергу відносять діаметр заряду, принцип його розосередження, параметри перебуру і набійки, параметри і місце розташування проміжного ініціатора і ін. В останні роки особливу увагу дослідники приділяють впливові на ефективність вибухового руйнування спеціальних елементів конструкції

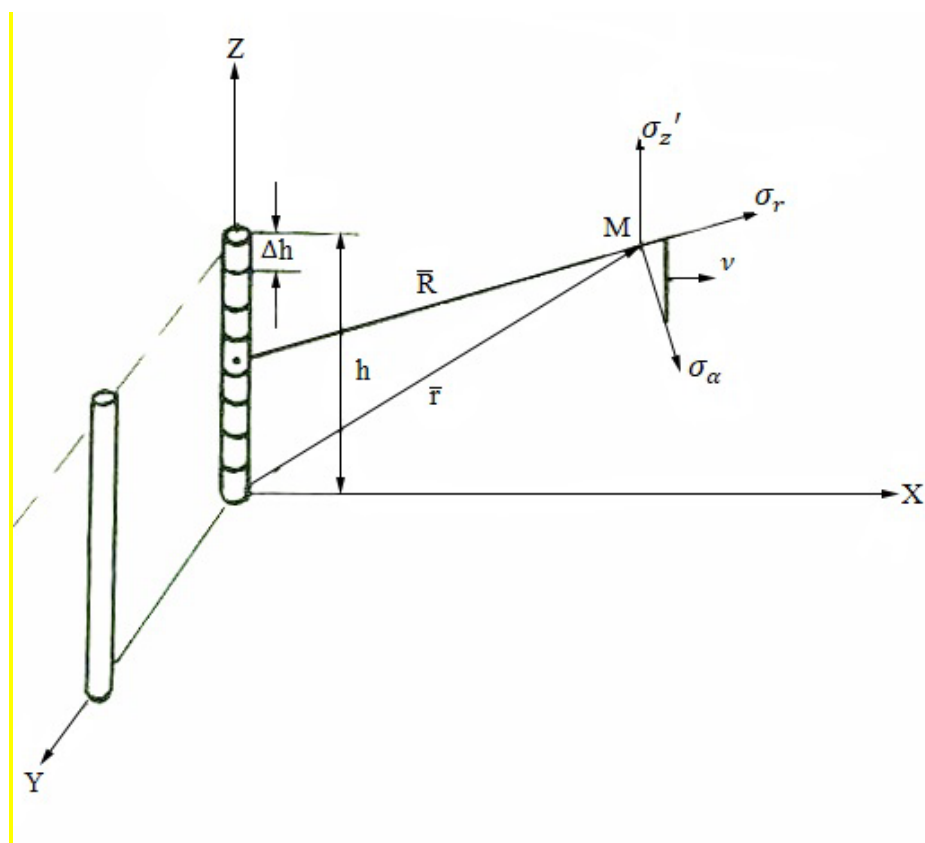
свердловинного заряд - коригувальних донних вставок, осьових кумулятивних вставок, складної системи проміжних детонаторів, зміни форми вибою свердловини та ін [53, 64,65].

В існуючій практиці більшість згаданих пропозицій стосуються проблеми перебуру і потребують спеціальних заходів, що ускладнюють технологію масового вибуху, лособливо в умовах родовищ, які розробляються на гірських схилах, де через скорочення довжини зарядів зростає негативний вплив торцевих частин свердловинного заряду. Обидва торці заряду обмеженої довжини знижують механічний ефект вибуху переважно в осьовому напрямку: нижній - області перебуру, верхній – в області набійки.

Коригування наслідків цих явищ можливе в кілька окремих стадій, з яких основною є стадія детонації заряду. Протягом перших мілісекунд після ініціювання управління крайовими ефектами вибуху можливе лише шляхом зміни конструкції заряду і послідовності його детонаційного розкладання через вибір місця та умов його ініціювання.

Подальші дослідження закономірностей формування поля напружень з урахуванням крайових явищ виконані шляхом аналітичних розрахунків, що ґрунтуються на заміні лінійного заряду системою елементарних зосереджених зарядів. Для встановлення ряду характерних закономірностей розвитку поля напружень в масиві у випадку подовженого заряду кінцевих розмірів і для спрощення рішень подовжений заряд замінюється гірляндою зосереджених зарядів з загальною масою, що дорівнює масі лінійного заряду. Складено відповідну програму розрахунку, ґрунтовану на припущенні, що процес розглядається у віддалених шарах, де рівень максимальних напружень згідно з даними цього розділу допускає розв'язок задачі в пружній постановці. Алгоритм розв'язання задачі [84] наведено в Додатку А. Він полягає у розрахунку напруженого стану в певній точці масиву в зоні дії вибуху циліндричного заряду, імітованого гірляндою зосереджених зарядів

2-й варіант – гірлянда з 16 зосереджених зарядів $Q_i=0,5$ кг, відстань між зарядами $a=0,25$ м (крива 2 на рис. 2.5).



Розрахунки інтенсивності поля напружень (σ_x) виконано для відстані 1,08 м від осі імітованого заряду (гірлянди) для лівої половини гірлянди. Результати розрахунку за першим варіантом ($N = 8$) представлено на

рис. 2.5 суцільними кривими, за другим варіантом ($N = 16$) - штриховими лініями. Цифри внизу графіка означають моменти часу в мілісекундах, в які фіксується положення силового фронту в обох варіантах рішень.

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

- незалежно від конструкції гірлянди поле напружень найбільш інтенсивно розвивається проти центральної частини гірлянди ($Y=4\ldots 4,5$ м). Ближче до краю системи силове поле починає різко вироджуватись і вже напроти торця імітованого заряду ($Y=2,25$ м) втрачає половину своєї інтенсивності;

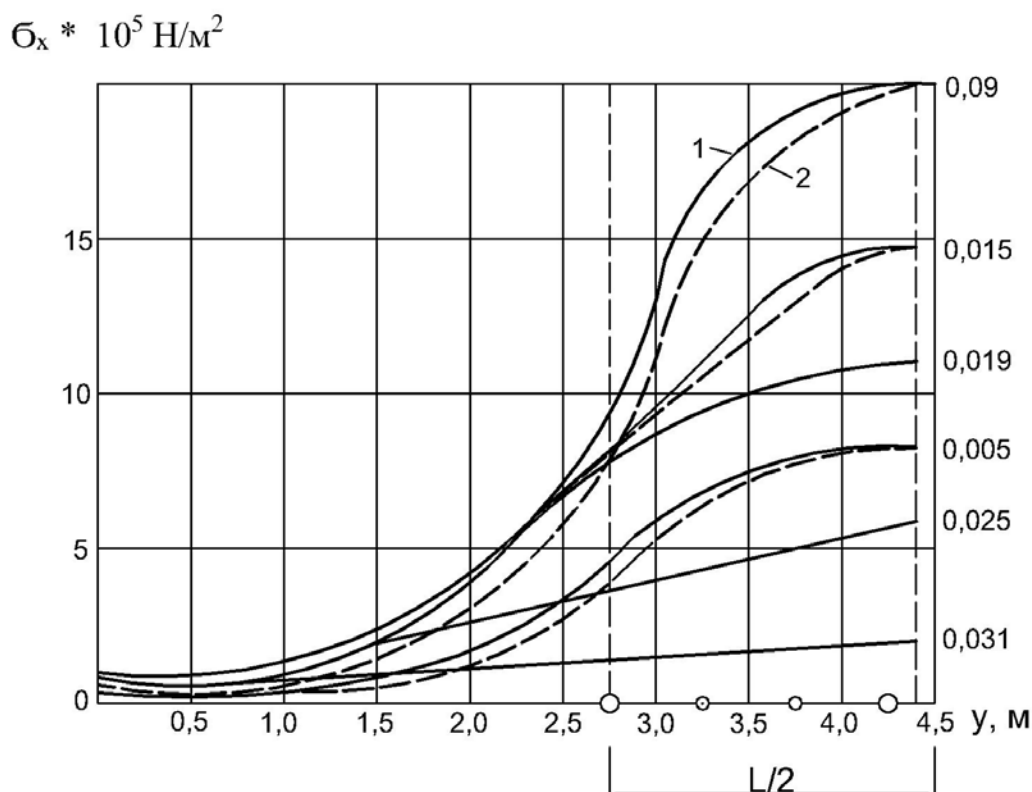


Рис. 2.5 Розвиток поля напружень за миттєвого ініціювання гірлянди довжиною 3,5 м з 8 (1) і 16 (2) зосереджених зарядів

- збільшення маси елементарних зарядів при зменшенні їх кількості в системі q_i розширює силове поле в бік торця; таке явище найбільш

виразно проявляється на стадії наростання напружень в силовому полі до максимуму (в моменти часу $t=0,005$ і $0,009$ мс) і практично не змінює інтенсивності силового поля на стадії затухання хвилі напружень.

- середня ділянка силового поля (на рівні $Y = 4...5$ м) залишається незмінною, тобто повторює симетрію заряду; можна вважати, що на цій ділянці кількість зарядів в гірлянді практично не змінює інтенсивності силового поля;

- загальний характер силового поля в умовах миттєвого підривання системи зарядів підтверджує результати теоретичних досліджень [57] щодо втрат силовим полем значної частини енергії (до 40%) в торцевій області лінійного заряду.

- оскільки збільшення числа зарядів в системі з одночасним зменшенням маси окремого заряду та відстані між ними внаслідок суперпозиції хвиль призводить до часткового ослаблення ефекту вибуху в торцевій області заряду, можна зробити висновок, що у формуванні механічного ефекту в торцевих частинах системи провідну роль відіграє маса крайнього заряду, в той час, як по рівню напружень в центральній частині заряду ($Y=4...5$ м) варіанти 1 і 2 вирівнюються.

Однак необхідно відзначити, що лінійні розміри зон ослаблення в обох варіантах нпроти торців подовженого заряду практично однакові і згідно з рис. 2.5 вони складають кожен $a_T = 1,00$ м, тобто довжина торцової частини заряду складає 50 радіусів заряду (на рисунку зображено лише ліву частину системи кривих, які дзеркально відображаються в правій частині).

Застосована методика розрахунку не має завдання отримати точні дані про часові та просторові параметри поля напружень в конкретному гірському середовищі. Для цього потрібні докладні дані про його динамічні міцнісні параметри та детонаційні характеристики ВР. Однак ця методика дозволяє встановити важливі якісні параметри процесу формування силового поля, породженого вибухом подовженого заряду обмежених

розмірів. Для нього характерне виразне проявлення крайових ефектів, що знижують ефективність руйнування порід в умовах масових вибухів свердловинних зарядів на гірничих підприємствах, які видобувають корисні копалини в умовах схилових родовищ. В зв'язку з цим являють технологічний інтерес можливі прийоми конструювання свердловинних зарядів та їх систем з метою врахування крайових ефектів та розробки способів керування механічним ефектом вибуху в торцях короткого свердловинного заряду.

2.3. Прийоми формування торцевого ефекту вибуху лінійного заряду

З технологічно доступних та нескладних способів компенсації крайового ефекту в торцевій області подовженого заряду практичний інтерес становлять прийоми варіювання масою зарядів в системі або зміною енергетичних характеристик заряду в торцевій частині. В рамках застосованої схеми конструювання подовженого заряду у вигляді гірлянди у зв'язку зі спостереженими ефектами виконано розрахунки поля напружень при різних ступенях збільшення маси крайнього заряду в системі (рис. 2.6).

Схему 2 розраховано в чотирьох варіантах миттєвого підривання зарядів: крива 1 - всі заряди однакові, криві 2-4 – радіус крайніх зарядів збільшено в 1,5 рази (крива 2), в 1,2 рази (крива 3), в 1,15 рази (крива 4).

. З аналізу даних рис. 2.6 слідує, що застосування крайнього збільшеного заряду забезпечує збільшення рівня напружень (в рамках прийнятих параметрів заряду) практично у всій області впливу вибуху. Оптимальний ступінь збільшення радіусу першого заряду, який забезпечує вирівнювання (циліндричність) фронту ХвН в межах всієї довжини заряду l_z , становить 1,15 - 1,2, що відповідає збільшенню маси заряду в 1,5-1,7 рази. Збільшення маси крайнього заряду розширює область впливу вибуху в напрямку осі заряду У (за межами торця гірляндного заряду) значно менш

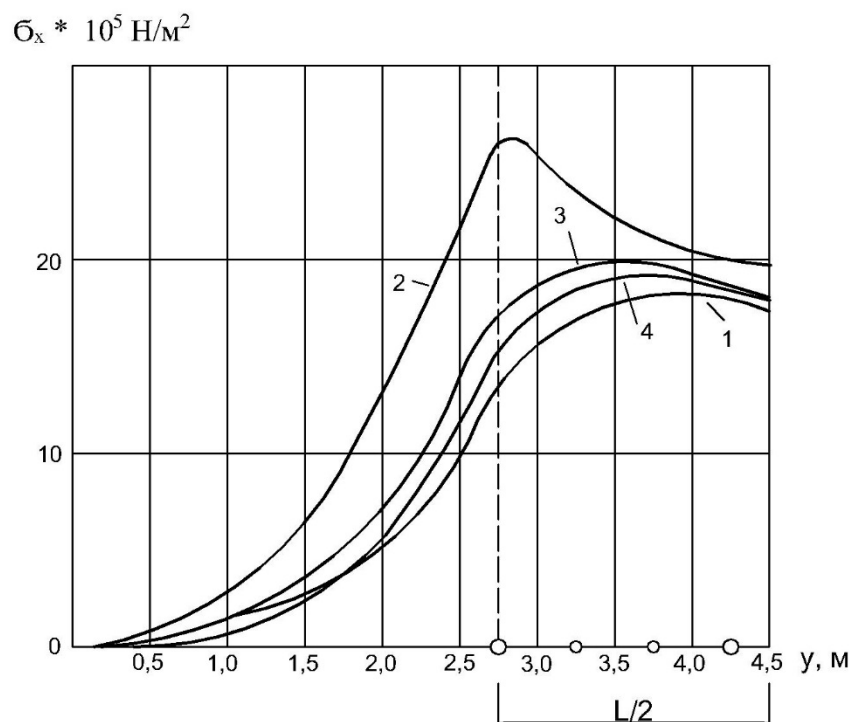


Рис. 2.6 Динаміка розвитку поля напружень при миттєвому вибуху гірлянди із збільшеним крайнім зарядом (схема 2).

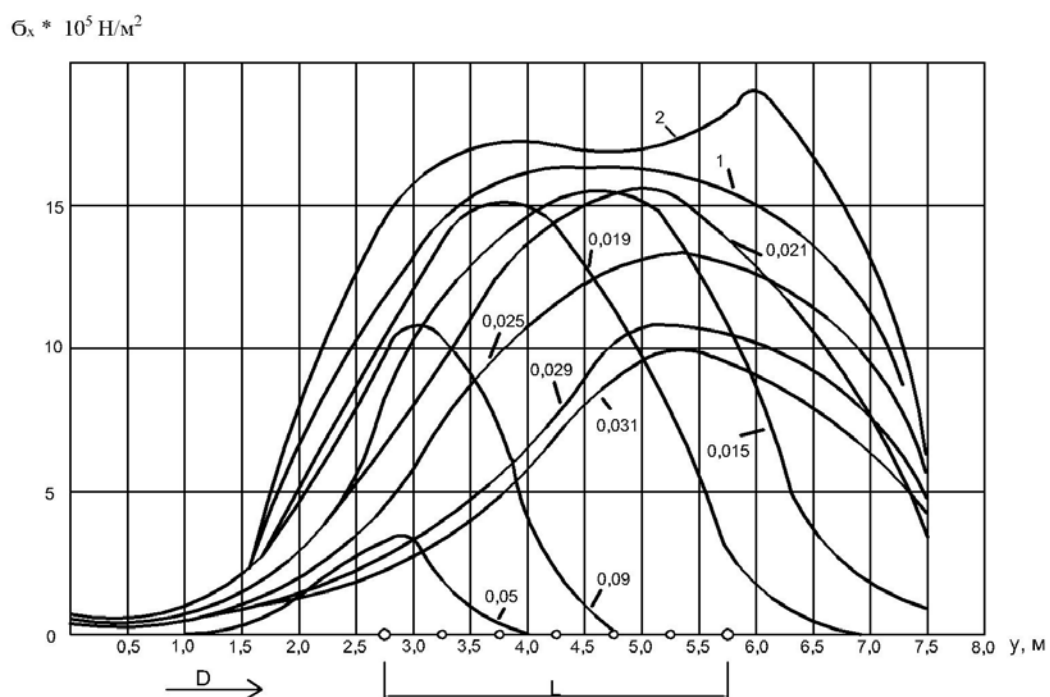


Рис. 2.7 Динаміка розвитку поля напружень при послідовному ініціюванні гірлянди зосереджених зарядів з лівого краю (схема 3).

інтенсивно в порівнянні з областю в межах від $Y=2,75$ м до $Y= 4,5$ м (середина заряду), тобто ефект від застосовуваного прийому реалізується переважно в напрямку по нормалі до осі Y подовженого заряду.

Результати розрахунків на рис. 2.5, 2.6 стосуються миттєвого режиму детонації системи зосереджених елементарних зарядів, коли напрямок детонації заряду не впливає на геометрію силового поля. Щоб виявити ефект, пов'язаний з послідовністю вибухового розкладання системи, виконано розрахунок полів напружень в умовах короткосповільненого підривання елементарних зарядів в системі (рис. 2.7).

Напрямок детонації системи вказано стрілкою. Час сповільнення між зарядами дорівнює часу приходу хвилі напружень від попереднього підірваного заряду до наступного, тобто $\Delta t = a/C_p$, де a - відстань між зарядами, C_p - швидкість фронту хвилі в масиві

Ізолінії напружень з позначеними часовими інтервалами ілюструють процес послідовного формування в масиві силового поля. Огинаюча крива 1 на рис. 2.7 відповідає максимуму напружень, досягнутому при підриванні за миттєвою схемою (рис. 2.5).

Її положення на графіку свідчить про подібність кінцевого вигляду силового поля з варіантом миттєвого підривання зарядів.

Огинаюча крива 2 на рис. 2.7 відповідає варіантові схеми (рис. 2.6), в якому радіус крайніх зарядів в системі збільшено в 1,2 рази. З порівняння огинаючих 1 і 2 видно, що в схемі з короткими сповільненнями, тобто з реальним розвитком детонаційного процесу в подовженому заряді спостерігається помітне збільшення рівня напружень на рівні торця гірлянди, тобто напроти останнього заряду в гірлянді. Це означає, що для досягнення підвищеного ефекту в обох торцевих частинах системи достатньо підсилити лише заряд на її початку. При цьому досягається помітне розширення зони циліндричності силового фронту та одночасно – деяке підсилення механічного ефекту по довжині заряду.

Спостережені явища перерозподілу напружень в полі, генерованому подовженим зарядом, свідчать, що якісні результати розрахунків форми та інтенсивності силового поля навколо подовженого заряду обмеженої довжини можуть сприяти рішенню завдань, що стоять перед реальним свердловинним зарядом в умовах масового вибуху.

Порівняння умов роботи обох торців вертикального свердловинного заряду свідчить про їх значні відмінності. Відомо, що найбільш складні умови підривання в області нижнього торця, де нижня частина заряду працює в режимі повного камуфлету з показником дії вибуху $n=0,22$. Середня частина заряду працює на нормальне спущення з показником дії вибуху близько $n=0,33$. Робота верхнього торця заряду на контакті з набійкою виконується в полегшених умовах, коли показник дії вибуху може змінюватись в межах $n=0,33...0,75$ залежно від технологічних вимог та правил безпечного ведення гірничих робіт. Лише необхідно з'ясувати роль таких параметрів окремого заряду, як діаметр заряду, тип промислової ВР, довжина торцевої частини, пов'язаної з підвищеною втратою енергії вибуху, і порівняти участь хвильового та поршневого механізмів у руйнуванні приповерхневого шару порід при взаємодії суміжних зарядів для керованого руйнування надторцевого шару породного масиву системою на рівні набійки в безпечному режимі розпушування.

Першочергової уваги заслуговують умови та результати роботи нижнього торця свердловинного заряду, оскільки в зоні його дії вибухом можна вирішити одночасно кілька завдань, з яких найголовнішим є забезпечення якісного відділення руйнованого масиву на рівні підосви уступу без зайвих енергетичних витрат, які досі в практиці масових вибухів пов'язані з проблемою «перебуру».

Слід оцінити, чому відповідає збільшення частини заряду в області перебуру. Умовимося, що загальне посилення торцевої частини заряду для збереження інтенсивності силового поля на рівні лінії опору по підосві W_p

дорівнює масі заряду в перебуді. Згідно з відомими методиками, при $L_{\text{пер}} \approx 10d_z$ і діаметрі свердловинного заряду $d_z = 100$ мм глибина перебуду складе 1,0 м, а маса заряду в перебуді $S_{\text{п}} \approx 7$ кг, тобто для компенсації торцевого ефекту потрібно збільшити масу торцевої частини вдвічі. Розрахунки, наведені вище, рекомендують збільшення маси у 1,5...1,7 разів, однак слід враховувати, що ці розрахунки виконано без розрізнення умов експлуатації нижнього і верхнього торців свердловинного заряду. Що стосується експлуатації частини свердловинного заряду в зоні перебуду, то він функціонує в найбільш складних умовах максимального камуфлету, тому дворазове збільшення заряду нижнього торця (замість 1,5...1,7 рази) можна вважати виправданим. Однак не можна вважати єдиним рішенням збільшення торця заряду. Досвід досліджень показує [16,53], що існують достатньо ефективні сучасні конструктивні рішення. На жаль, ці рішення потребують конструктивних змін або в заряді, або в конфігурації свердловини, що певним чином ускладнює технологію БПР.

Створити умови для провокації відривних явищ у донній частині свердловини можливо іншими конструктивними рішеннями, які викладені в наступних розділах роботи. Особливістю пропонованих рішень є створення архітектури свердловинного заряду, в якій проміжний ініціатор з більш потужної вибухової речовини порівняно з основним зарядом забезпечить формування на бічній поверхні свердловини зародкових порушень, що призведуть до утворення в процесі сумісного вибуху бойовика і заряду промислової ВР горизонтальної (радіальної) тріщини в площині підшви уступу, для чого потрібно спрямувати енергетичний потік по нормалі до похилої поверхні кінцевого заряду в кутову зону дна свердловини;

2.4. Керування торцевим ефектом вибуху в дні свердловини

В сучасних умовах якість подрібнення гірської маси досягається призначенням раціональної питомої витрати промислової ВР, добором ефективних засобів ініціювання і мереж підривання, призначенням

величини перебуру в нижній частині свердловини. Заряд в перебурі з геометричної точки зору не деформує оточуючий його масив, але його енергія потрібна для зрушення породного масиву на рівні підшви проєктованого уступу і вище. При цьому питома витрата ВР в зоні перебуру практично подвоюється, оскільки ця частина масиву лише пластично деформується на контакті з зарядом, ослаблюючи майбутню поверхню нижнього уступу.

Сучасні пропозиції [53,64,65] щодо скорочення довжини перебуру полягають в застосуванні в нижній частині свердловини комбінованого заряду з більш потужною ВР, наданні нижньому торцеві основного заряду конічної форми, бічній переорієнтації осьового струменя продуктів вибуху заряду в нижньому його торці шляхом застосування інертних конічних вставок, ослабленні масиву, прилеглого до кутової зони в дні свердловини, шляхом попереднього підривання допоміжних зарядів із створенням зародкової тріщини в потрібному напрямку.;

Останній спосіб схожий з аналогічною задачею, яка ставиться в свердловинних геотехнологіях, оснований на гідродинамічному розриві продуктивних нафтових або газових пластів [20, 49...51]. Такі технології потребують засобів механізації (газогенераторів або свердловинних снарядів). В якості робочого агента в цих засобах для початкового розриву пласта використовується тиск від вибуху порохових зарядів. Спочатку під тиском порохових газів утворюється коротка зародкова тріщина, яка далі під дією розширюваних газів розвивається, розклинюючи масив вже під дією внутрішньосвердловинного тиску газорідної суміші (газогідродинамічний метод). Особливо ефективно метод працює в слабких та в середньої міцності породах – вапняках, доломітах, пісковиках. В таких породах газогенератори забезпечують поширення тріщин в масиві в радіусі 15-20 м [Мих.20]. Щодо міцних порід, порохіві заряди вважаються недостатніми за енергетикою, тому в згаданих технологіях пропонується

використання енергії вибуху зарядів звичайних промислових ВР, або торпед, розміщених в свердловинних глибинних пристроях.

Розглянемо можливість перенесення досвіду цих робіт на гірничі технології для отримання ефекту безпорогового уступного руйнування гірських порід з ліквідацією потреби в перебуді.

Досвід свердловинних геотехнологій свідчить, що в них в більшості ставиться задача створення горизонтальної зародкової тріщини для подальшого її розвитку гідророзривом в просторі, обмеженому потужністю продуктивного пласта. Якщо на початковому етапі технології не задати потрібний напрямок розвитку такої тріщини, цей процес буде некерованим, і тому при вибуху через надто високий тиск в свердловині формуватиметься система вертикальних тріщин вздовж твірних циліндричної поверхні свердловини. Однак, якщо постає задача створення в нижній частині свердловини радіально-кільцевої (горизонтальної) тріщини для відмови від перебуду, техніка формування розриву потребує розробки спеціальних заходів. В свердловинних геотехнологіях пропонується використовувати торпеди з кільцевими тороїдальними або спеціальними кумулятивними зарядами, які здатні створити зародкову кільцево-радіальну тріщину глибиною 2-4 см [49]. Оскільки в умовах масових вибухів обробка кожної свердловини з застосуванням таких засобів технічно та економічно нераціональна, метод отримання зародкової радіально-кільцевої тріщини має бути максимально спрощеним.

Найперше напрошується рішення розташувати в дні свердловини тороїдальний заряд з однієї або кількох ниток детонуючого шнура, який має створити в кутовій зоні зародок радіально-кільцевої тріщини. За подальший процес розвитку цієї тріщини на рівні підосви уступу має відповідати поршнева дія продуктів детонації головного свердловинного заряду. Однак така техніка додає нову непросту операцію з розташування і підривання в

кожній свердловині на її дні тороїдального заряду, що потребує окремого ініціатора (капсуля) з ниткоюДШ або з детонуючим хвилеводом.

Для вивчення можливостей методу досліджено наявність та параметри механічного ефекту вибуху модельного подовженого заряду в лабораторних умовах з використанням гранітних зразків [28]. Схема експерименту передбачає розгляд наслідків бризантної дії заряду, оскільки він безпосередньо контактує з об'єктом досліджень, а поршнева складова дії вибуху практично виключається через незначний шар піщаної набійки. Вважається, що цього достатньо для створення початкових пошкоджень, які можуть призвести до зародження і розвитку радіально-кільцевої тріщини в заданому напрямку або на заданому рівні від дна свердловини.

В експериментах вивчено характер порушень в кутовій частині шпура або свердловини в залежності від архітектури донної частини свердловинного заряду. Для експериментів обрано найбільш дрібнозернистий граніт Покостівського родовища [28, 31], оскільки чим менші структурні елементи масиву, тим ближче експеримент до ідеальних умов ізотропного середовища. в якому на результат не будуть впливати параметри кристалічних елементів та міжкристалічні зв'язки. При моделюванні умов деформування масиву в донній частині свердловини в гранітному зразку створювалися прямокутні вирізи (рис. 2.8), що імітують умови роботи вибуху в кутовій частині дна свердловини або шпура. При виконанні лабораторних дослідів основною метою досліджень було встановлення геометрії проявів механічного ефекту «вибуху» в кутовій зоні.

Прийнято, що кутовий виріз в гранітній моделі та відповідно модельний лінійний заряд є розгорткою системи «дно свердловини – тороїдальний заряд». Довжина лінійного «заряду» становила 50 мм. «Заряди» розташовувались вздовж кутового вирізу і засипались піщаною набійкою. Після обробки моделі «вибухом» із зразка вирізалась середня

пластина для дослідження на електронному мікроскопі з подальшим встановленням параметрів порушених зон в залежності від маси заряду.

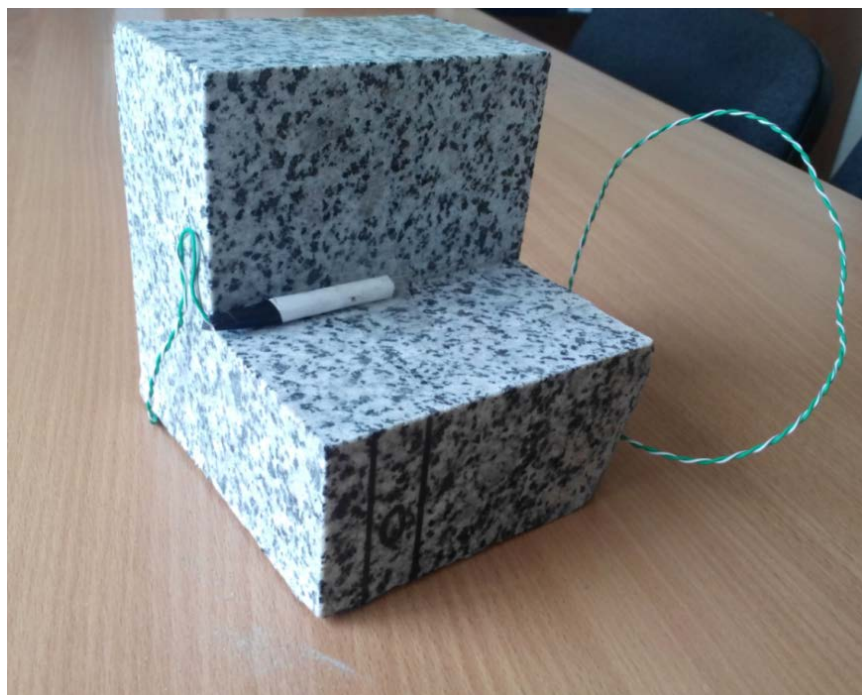


Рис. 2.8 Еспериментальний зразок [31]

Характерний вигляд області порушень в кутовій зоні моделі наведено на рис. 2.9. За результатами мікроскопічного аналізу зразків вимірювались глибина проникнення порушень в тіло зразка та ширина зони порушень. Відмічено наявність характерних пошкоджень масиву типу зародку радіально-кільцевої тріщини. Важливим елементом цих вимірювань є орієнтація напрямку формування зони порушень на кутовому вирізі зразка.

На рис. 2.9 тонкими стрілками позначено закруглену тильну межу зони обсіпання (передню кромку деформованої зони), яка відбиває симетрію джерела. Жирними стрілками позначено зовнішню межу зони зім'яття, за якою слідує зона мікродеформацій. Серповидна форма зони зім'яття, що повторює симетрію заряду, та відкольний тип більшості видимих тріщин (рис. 2.10) свідчать про те, що на бризантній стадії розвитку процесу

контактного вибуху переважає механізм руйнування масиву під дією відбитих хвиль, тобто розтягуючих напружень. Оскільки межа міцності реального матеріалу може бути майже на порядок меншою за межу міцності на всестороннє стиснення, такий тип руйнування на бризантній стадії процесу цілком очікуваний. Очевидно, за реальних умов запирання продуктів вибуху в свердловині та відповідної маси проміжного ініціатора в донній частині свердловини матиме місце і механізм формування радіально – кільцевих розривів. Можливість появи таких розривів на початковій стадії процесу демонструється зародком структурного порушення в середній області деформованої зони на збільшеному знімку (рис. 2.10). Наявність дефекту в структурі каменя має призвести в умовах вибуху реального ініціюючого заряду бойовика до першочергового формування вглиб масиву радіальної тріщини з розвитком мікродефектів в прилеглий зоні мікротріщинуватості (рис. 2.11).

Вибух надто слабкого модельного заряду, не маючи можливості відтворити весь спектр руйнувань в зоні його дії, дозволяє моделювати деформаційну картину переважно на рівні розвитку природних дислокацій, що видно на знімках рис. 2.12 і 2.13. Однак навіть без наявності видимих природних дефектів у структурі породи енергетичне поле концентрується в кутовій зоні, створюючи умови для започаткування радіально - кільцевого розриву (див. клиновидне порушення цілісності зразка на рис. 2.14).

За відсутності провокуючих дефектів можливий варіант заглиблення в породний масив тангенціальних тріщин відриву, які ослаблюють кутову зону і в подальшому під час вибуху бойовика та основного заряду мають сформувати радіально-кільцевий розрив (рис. 2.15). На знімку видно клиновидний характер заглиблюваної тріщини відриву, яка простує до осі симетрії в зоні порушень, позначеної вертикальною лінією на знімку. Незалежно від форми рівновеликих за масою зарядів на мікроскопічних

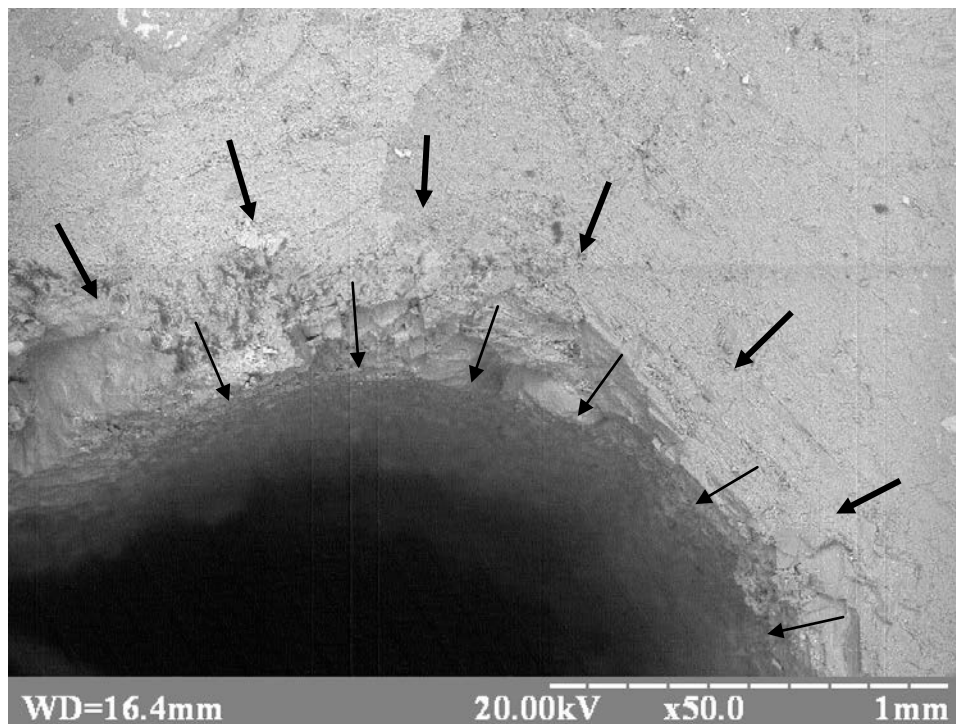


Рис. 2.9 Загальний вигляд зони порушень від вибуху модельного «заряду»

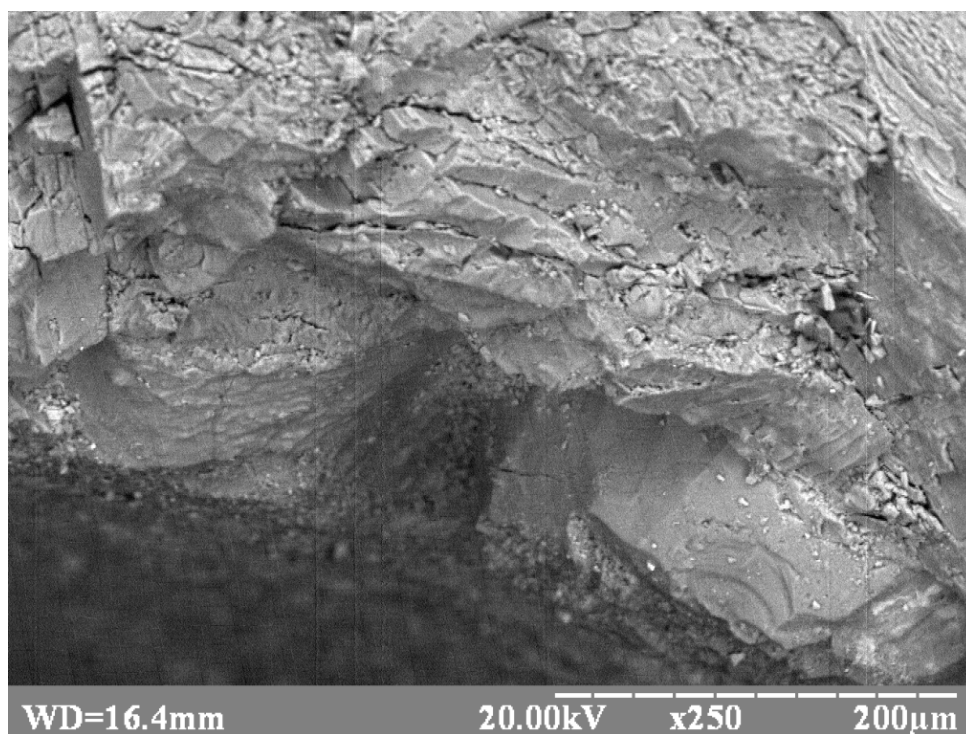


Рис. 2.10 Тріщини відбиття та зародок радіально-кільцевої тріщини в межах зони зім'яття

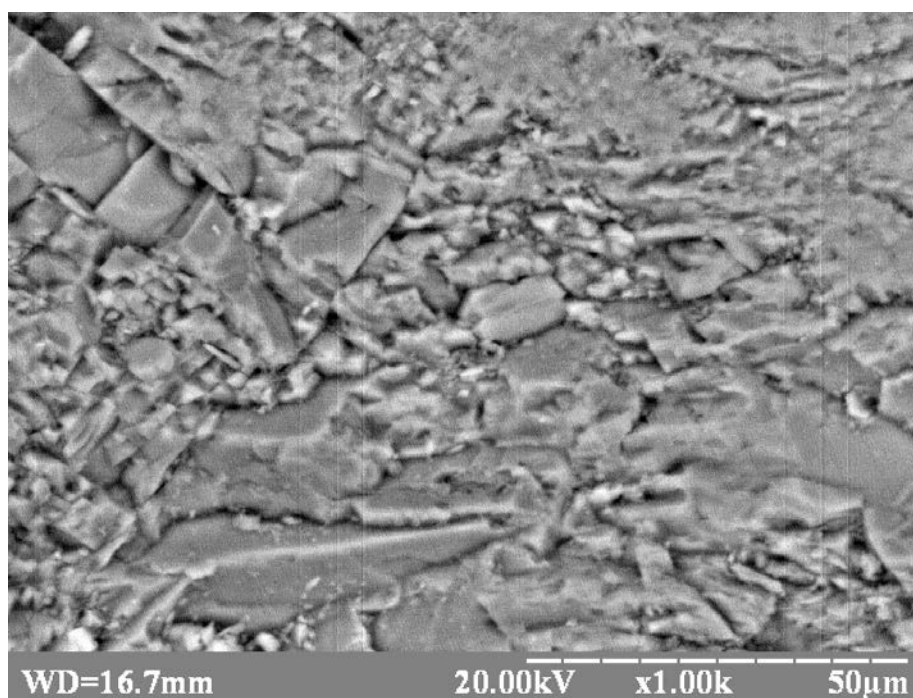


Рис. 2.11 Структура зони мікротріщинуватості

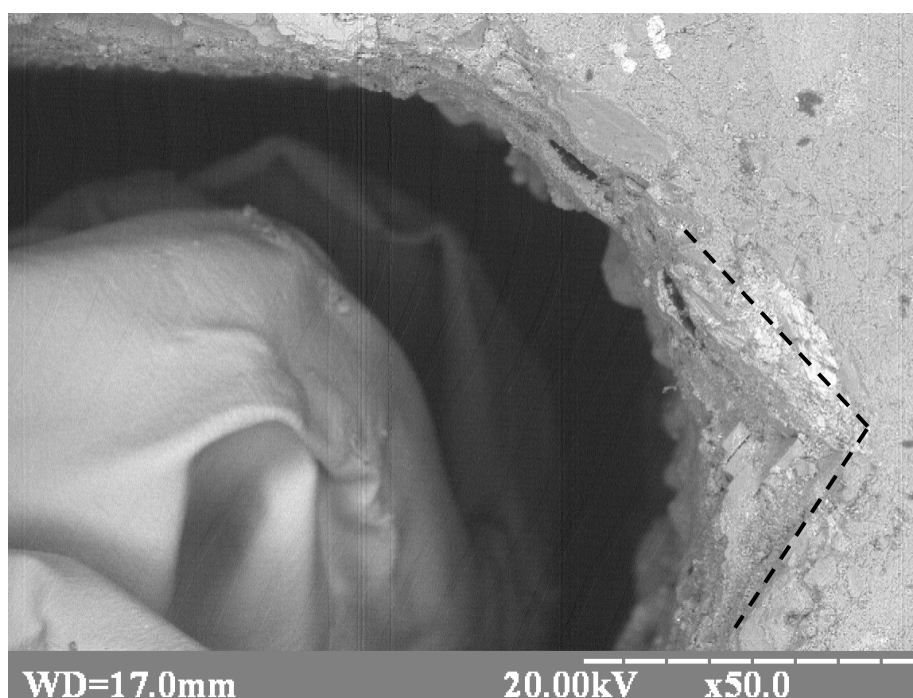


Рис. 2.12 Розвиток природного дефекту на бічній поверхні моделі

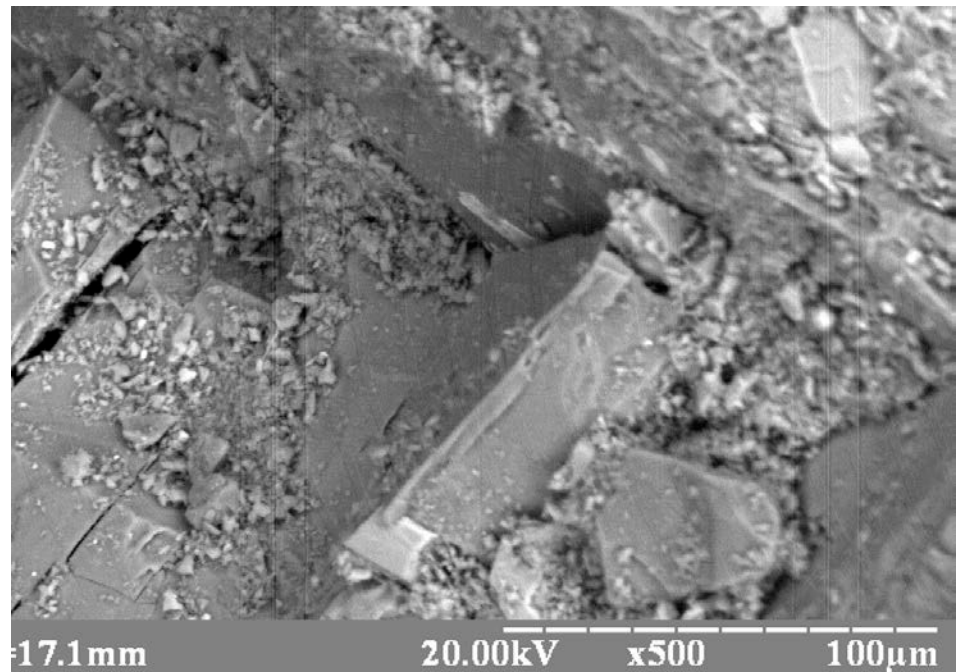


Рис. 2.13 Фрагмент зародку радіально-кільцевої тріщини на структурному дефекті

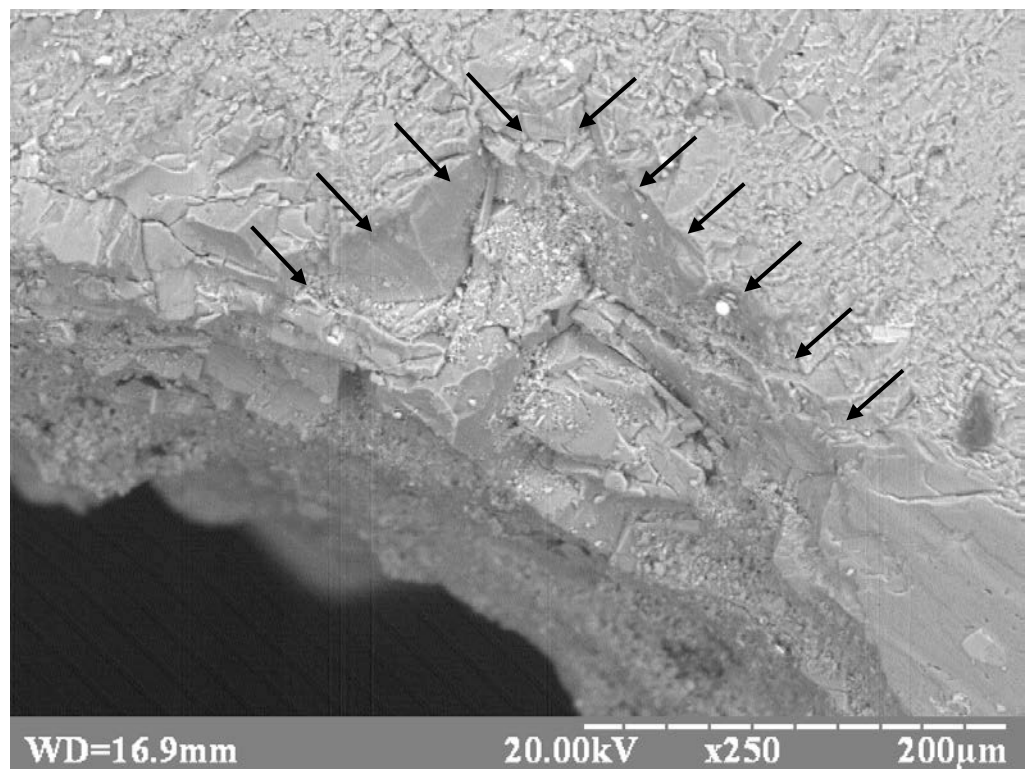


Рис. 2.14 Зародок заглиблення радіального спрямування в кутовій зоні

знімках крім зони обсіпання присутні практично рівновеликі зони зминання і мікротріщинуватості.

Виміряну глибину зони зминання h в досліджуваних моделях приведено до відносних одиниць. Залежність приведеної глибини від величини m_3 (маси заряду), виражена в $\sqrt{m_3}$, тобто $h_{пр} = h/\sqrt{m_3}$, зростає за законом, який можна виразити співвідношенням:

$$h_{пр} = 20,81 m_3^{1/2}, \text{ мм / кг}^{1/2} \quad (2.1)$$

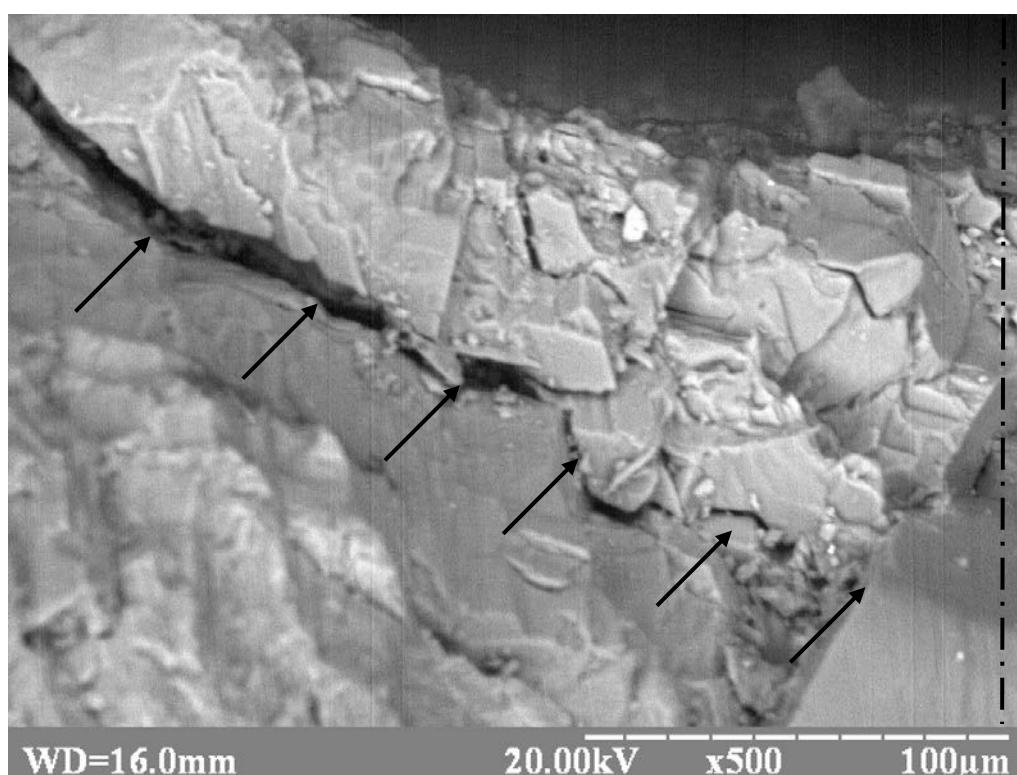


Рис. 2.15 Клиновидна форма заглиблювальної тріщини відбиття

Отримані дані виявляють в основному тенденцію, оскільки в лабораторних умовах використано слабку імітацію заряду. На практиці в якості бойовика застосовуються вироби з більш потужної ВР - пресованого тротилу, відповідно слід очікувати значного збільшення механічного ефекту в потрібному напрямку. Якщо припустити, що маса бойовика становитиме 0,7...1,0 кг, згідно з наведеним співвідношенням максимальна глибина зони зім'яття в кутовій зоні дна свердловини може досягти 20 мм, що з

урахуванням приєднаної до неї зони мікротріщинуватості здатне однозначно визначити напрямок розвитку відкольної тріщини в площині підшви уступу.

Ширина серповидної деформованої зони помітно більша від її глибини.

Цей параметр залежить від діаметра заряду:

Маса заряду, г	6	8	10	
Ширина зони, МКм	370	1060	1500	1600

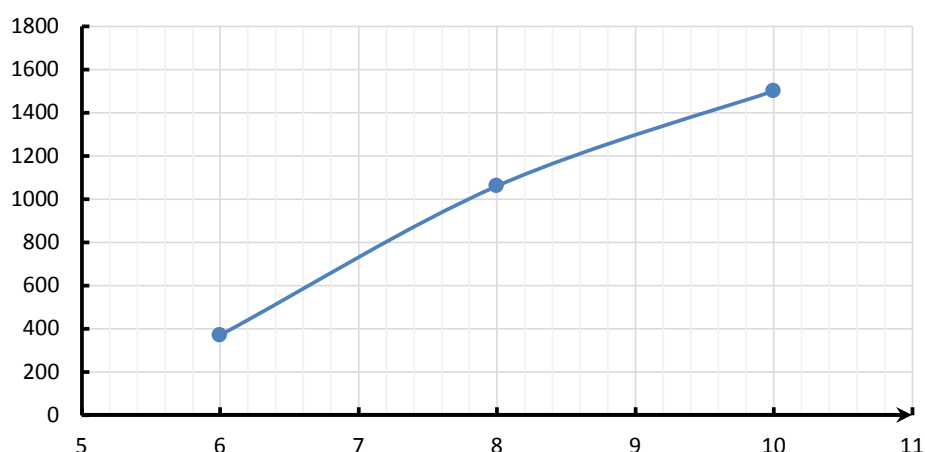


Рис.2.16 Залежність ширини серповидної зони від маси модельного заряду

З наведеної на рис. 216 залежності видно, що в разі діаметра заряду 70 мм ширина деформованої зони зростає 7-микратно, тобто може становити близько 11 см. Зрозуміло, що цей параметр лише допоміжно характеризує інтенсивність порушення цілісності масиву, але оскільки він формується в комплексі з заглибленням порушень в зразок, обидва ці параметри свідчать про перспективи методу.

Як слідує з аналізу рис. 2.11...2.15, максимум заглиблення деформованої зони розташовується симетрично до її берегових сторін і

таким чином визначає подальший напрямок розвитку природного або створення штучного дефекту.

Одним із способів управління напрямком розвитку потрібного механічного ефекту вибуху подовженого заряду в донній частині свердловини є пасивна прокладка між зарядом і дном свердловини. Вона дозволяє певним чином змінити напрямок потоку енергії вибуху в сторону бічної поверхні зарядної порожнини.

Завдяки застосуванню прокладки на бічній поверхні утворюється деформована зона, що являє собою зародок горизонтальної тріщини, яка дозволяє відмовитися від перебуру в свердловинних зарядах. Зрозуміло, що ефективною буде металева прокладка, але її застосування економічно недоцільне. Тому шукають більш економічно вигідні матеріали. В якості такого матеріалу на практиці може бути бетон, пісок або, як показують дослідження [15], буровий шлам чи подібний матеріал з висотою шару, що дорівнює діаметру свердловини.

Функцію створення бічного джерела динамічних збурень поблизу дна свердловини можна вирішити об'єднанням в одному конструктивному елементі заряду – проміжному бойовику цієї функції з обов'язковим елементом конструкції свердловинного заряду - проміжним бойовиком. Проблема бойовика розглядається завжди в плані надійності передачі процесу його детонації в подовжений заряд і повноти вибухового розкладання заряду. Однак слід звернути увагу на явища, пов'язані з місцевим механічним ефектом вибуху на контакті з зарядом бойовика в залежності від його форми. Відомі дослідження механічного ефекту подовжених шпурових зарядів різного поперечного перерізу [91] свідчать про наявність помітної різниці в ефективності бризантної дії зарядів циліндричних, квадратного та трикутного перетину на користь заряду з трикутним поперечним перерізом. Автори детально вивчили структурні зміни в зразках на контакті з зарядами, але не надали пояснення щодо

спостереженого явища. На нашу думку, воно пов'язане з формуванням навколо кожного заряду специфічних силових полів та концентрацією енергетичних потоків в напрямку по нормалі до бічних граней заряду.

Отже, змінюючи форму патрона-бойовика (ПБ), можна домогтися переорієнтації потоку енергії при його вибуху в заданому напрямку. Звідси постає рішення виготовити ПБ у вигляді усіченого конуса і розташувати в донній частині свердловинного заряду співвісно з ним та орієнтувати вершиною до дна свердловини. Бічне розлітання продуктів вибуху може бути використане в якості джерела деформаційних явищ, описаних вище. Таким чином, з'являється можливість орієнтувати потік енергії при його вибуху в напрямку нормальному до бічно\ похилої поверхні конічного ПБ. Має значення місце розташування такого бойовика, його маса, геометрія та послідовність дії ПБ та ініційованого ВР заряду на масив в донній частині свердловини

Висновки

Ведення масових вибухів в умовах нагірних родовищ супроводжується значним перепадом висот в межах одного блоку, що вимагає зменшення висоти уступу і відповідно довжини свердловинного заряду, при цьому зростає вплив торцевих частин заряду через порушення осьової симетрії силового поля за значних (до 40%) дисипативних втрат енергії:

аналітичні дослідження крайових ефектів при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів свідчать, що за умови миттєвого ініціювання короткого заряду відбувається одночасно на торцях заряду виродження осьової симетрії силового поля на глибину до 50 радіусів заряду, тобто в реальних умовах застосування коротких свердловинних зарядів їх механічний ефект формується ослабленими кінцевими ділянками заряду;

за реальних умов ініціювання подовженого заряду від одного з торців силове поле деформується, ослабляючись на початковій ділянці масиву, та підсилюючись на кінцевій ділянці, тобто за умови нижнього ініціювання

свердловинного заряду силове поле «викривлюється» в напрямку руху детонаційної хвилі та підсилює механічну дію на контакті з набійкою;

в якості компенсації енергетичних втрат на початковій стадії розвитку силового поля запобіжником виродження фронту хвилі напружень є збільшення торцевої частини свердловинного заряду в 1,5...1,7 рази, яке в практиці може бути замінене потужним проміжним ініціатором з відповідними енергетичними показниками;

оскільки на механічний ефект вибуху свердловинного заряду в нижній частині уступу негативно впливають два чинники – більш складні затиснені умови роботи заряду та крайовий ефект вибуху, скорочення або ліквідація витрат на перебур можливі через застосування спеціальних заходів формування силового поля, оснований на керуванні його геометрією та інтенсивністю для створення на рівні підосви уступу зародкових форм тріщинуватості, що сприятимуть відривним процесам;

дані модельних досліджень на електронному мікроскопі і аналіз залежності наведеної глибини зони деформацій в обмеженій кутовій частині моделі від маси заряду свідчать, що розміри деформованої зони, або зони зминання наближаються до величини в межах 450-500 МКм; з подальшим збільшенням маси бойовика до 0,5 – 1 кг максимальна ширина зони зминання в кутовій частині дна свердловини може скласти $\approx 2,1$ см, що з урахуванням наступної за нею зони мікротріщинуватості здатне однозначно визначити напрямок розвитку радіально-кільцевої тріщини в площині підосви уступу;

раціональне використання енергії вибуху проміжного бойовика в бічному напрямку можливе шляхом заміни його циліндричної форми на більш складну, наприклад, конічну, розраховану на формування концентрованого енергетичного потоку, спрямованого по нормалі до похилої бічної поверхні в кутову зону дна свердловини для провокування зародку радіальної відкольної тріщини в площині підосви уступу.

РОЗДІЛ 3

МЕХАНІЧНИЙ ЕФЕКТ ВИБУХУ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО КОНІЧНОГО БОЙОВИКА В АРХІТЕКТУРІ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

3.1. Модельні дослідження силового поля від вибуху конічного заряду

Заряди зосередженої дії на гірничих роботах в більшості використовуються або в якості проміжного бойовика в основному свердловинному заряді, або як самостійні заряди на вторинних підривних роботах. В цьому разі їх геометричні параметри, детонаційні характеристики і характер просторового розподілу випромінюваної таким зарядом енергії враховуються мінімально або ігноруються. Відомий приклад зосередженого заряду кумулятивної дії свідчить про можливості створення вибухом складної керованої картини формування енергетичного поля за його вибухового розкладання. Як показують дослідження [11,15], кумулятивний заряд, як конструктивний елемент в нижній частині свердловинного заряду, дозволяє вирішувати одночасно подвійну задачу - ініціювання основного заряду і посилення його дії в осьовому напрямку, наприклад, в напрямку перебуру.

В реальних умовах детонації заряду будь-якої конструкції через послідовне переміщення в часі детонаційного фронту від ініціатора до периферії заряду з подальшим виходом детонаційної хвилі і, відповідно, продуктів вибуху на межу між зарядом і середовищем характер розвитку силових полів достатньо складний. В спрощеному вигляді можливості керування геометрією силового поля шляхом зміни форми заряду підтверджуються розрахунками залежності довжини бічної твірної L_b рівнобічного трикутника від кута α при його основі (рис. 3.1).

Вважаємо, що ефективність конічного заряду різної форми в напрямку по нормалі до його бічної поверхні зростатиме із зростанням величини

бічної поверхні, або в наших розрахунках – від довжини бічної твірної L_b .
Визначимо параметри трикутника через значення L_b :

$$\text{основа } a = 2 L_b \cdot \cos \alpha$$

$$\text{висота } h = L_b \cdot \sin \alpha$$

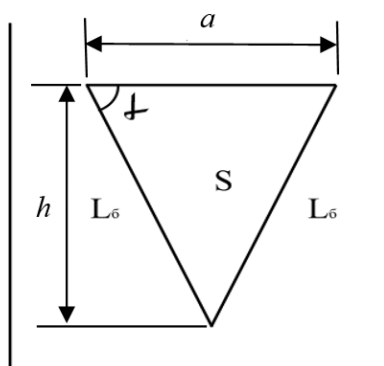


Рис. 3.1 Схема до розрахунку

З виразу для площі трикутника S за умови $S = \text{Const}$ отримуємо шукану залежність довжини бічної твірної L_b від кута α :

$$L_b = \sqrt{\frac{S}{\sin \alpha \cos \alpha}}, \quad (3.1)$$

яку можна зобразити у вигляді кривої $L_b(\alpha)$. Ця залежність в межах кута $\alpha = 40 \dots 50^\circ$ має екстремальний характер (рис. 3.2), тобто мінімальна довжина L_b трикутника, і відповідно площа бічної поверхні конуса досягається при α в області $40 \dots 50^\circ$ та зростає по обох гілках залежності. Теоретично максимуму довжини L_b буде досягнуто за нульового кута α та кута α в 90° , тобто в безкінечності. За нульового кута α маса заряду дорівнюватиме нулю, за значення $\alpha = 90^\circ$ заряд перетворюється на циліндр. Якщо бойовик в формі оберненого конуса розташовано в нижньому торці свердловинного заряду, в обох наведених варіантах нормаль до твірної L_b , тобто напрямок силового поля та його найбільш інтенсивна частина не буде спрямована в кутову зону свердловини. Немає сенсу аналізувати ліву

частину залежності, оскільки при наближенні кута α до нуля значення ширини основи a наближається до безкінечності (такий бойовик не вміщується в свердловину), а величина h наближається до нуля.

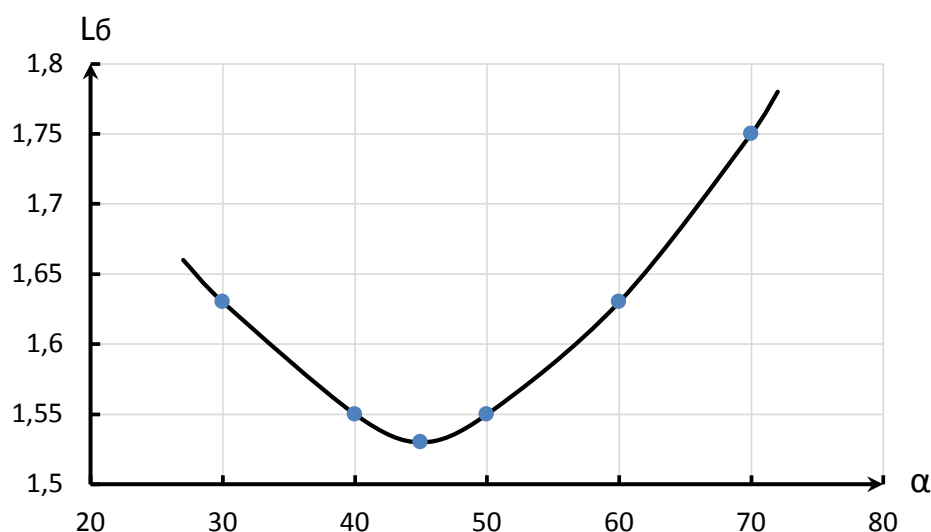


Рис. 3.2 Залежність довжини твірної L_b від кута α

Такий заряд повністю або частково не здетонує через невідповідність висоти критичному значенню діаметра. Аналізуючи праве крило залежності, бачимо, що раціональне значення кута α знаходиться в межах $60...70^\circ$, оскільки при подальшому зростанні кута крива на рис. 3.2 теоретично тяжіє до безкінечності. Подальші модельні та експериментальні дослідження мають піддати перевірці наведені попередні міркування.

Вивчення ефективності механізму формування та перерозподілу повного імпульсу вибуху кінцевого заряду на контакті з будь-яким ередовищем будується в першу чергу на відомих наукових уявленнях про контактну торцеву дію подовженого циліндричного заряду обмеженої довжини. Контактна або бризантна дія вибуху циліндричного заряду, ініційованого з торця, оцінюється величиною повного імпульсу при зустрічі детонаційної хвилі з перешкодою [59, 61, 87]:

$$I = 8/27 S \rho l D = 8/27 QD, \quad (3.2)$$

де S - площа поперечного перерізу заряду; ρ - щільність ВР; l - довжина заряду; D - швидкість детонації ВР; $Q = Sl\rho$ - загальна маса заряду.

Якщо циліндричний заряд детонує з одного торця, а протилежним торцем контактує з перешкодою, на величину осьового імпульсу впливає не повна маса заряду, а так звана його активна частина m_a , яка має форму конуса. Продукти детонації цієї частини заряду прямують у бік основи конуса, тобто в бік контакту з перешкодою. Отже, для циліндричного заряду ВР з постійною швидкістю детонації величина вибухового імпульсу пов'язана відповідно з загальною активною m_a масою заряду. Ця величина залежить від місця розміщення ініціатора в заряді: в бік поширення детонації розлітається $4/9$ маси ВР від загального обсягу [57,60,61]. При збільшенні висоти циліндра і незмінному діаметрі активна маса збільшується, але лише до певного співвідношення висоти заряду з діаметром, після якого маса активної частини залишається постійною.

У зв'язку з тим, що активна маса циліндричного заряду має форму конуса, для зниження енергетичних витрат має сенс наблизити до нього конструкцію самого заряду, надаючи йому форму усіченого конуса. Все наведене вище стосується відкритого заряду, в якому відсутня міцна зовнішня оболонка. При наявності такої оболонки бічне розлітання продуктів детонації зменшується, але збільшується бризантна дія цього заряду в осьовому напрямку [9,73,85,92].

Вивчення надзвичайно швидкого розкладання детонуючого заряду на стадії формування детонаційного фронту та подальшого його перетворення в ударну хвилю за межею заряду можливе шляхом експериментальних досліджень, що вимагають використання сучасного вимірювального обладнання. Однак через значні витрати на такі експерименти сучасна наука віддає перевагу комп'ютерному моделюванню фізичних процесів. Обмежена кількість експериментів потрібна лише для встановлення надійності результатів моделювання.

Для розробки уявлень про хвильові явища в продуктах детонації під час вибуху зарядів вибухової речовини конічної форми було виконано моделювання за допомогою програмного пакету "GEFEST" [67] на основі використання двовимірного гідрокоду "KOLDUN" [56].

Результати комп'ютерного моделювання наведено у вигляді ізоліній щільності ПД від вибуху заряду у формі усіченого конуса при ініціюванні з вузької та широкої частини, а також з метою порівняння - для заряду циліндричної форми (рис. 3.3, а,б,в відповідно).

Оскільки силове поле у продуктах детонації виходить за межі контуру заряду, на рис. 3.4 точками в центрі кожного сімейства ізоліній відзначений його центр, завдяки чому можна встановити переважний напрямок розвитку поля згідно з формою і місцем ініціювання.

Аналіз будови наведених силових полів свідчить про наступне:

- форма поля залежить тільки від форми заряду незалежно від місця його ініціювання; переважний розвиток поля відзначається як розлітання продуктів детонації по нормалі до похилої бічної поверхні конуса, що надає полю грушовидної форми;
- за формою ізоліній за умови ініціювання заряду від вузького основи значна концентрація енергії спостерігається в осьовому напрямку (уздовж осі Z) в бік широкої основи конуса;
- в разі ініціювання конусного заряду від широкої основи переважає рух ПД і відповідно розподіл енергії вибуху вздовж осі Z в бік вузької основи конуса;
- у зоні дії вибуху циліндричного заряду переважають напрямки розвитку силового поля орієнтовані по нормалі до чотирьох сторін осьового перерізу заряду, проте спостерігається деяке зміщення поля в бік, протилежний місцю ініціювання;
- якщо загальну площу силового поля пов'язувати із загальною енергією вибуху, надається можливість керувати потоком енергії за рахунок

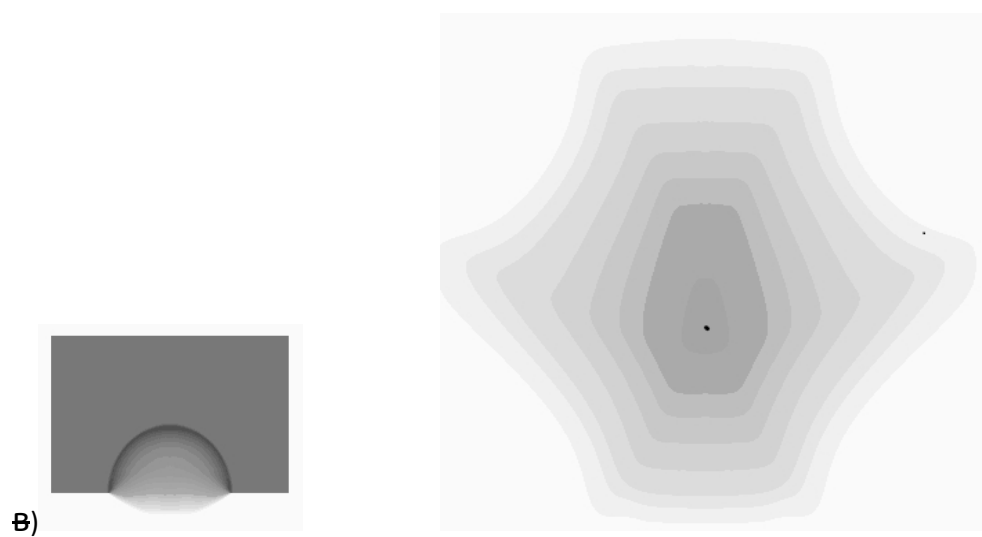
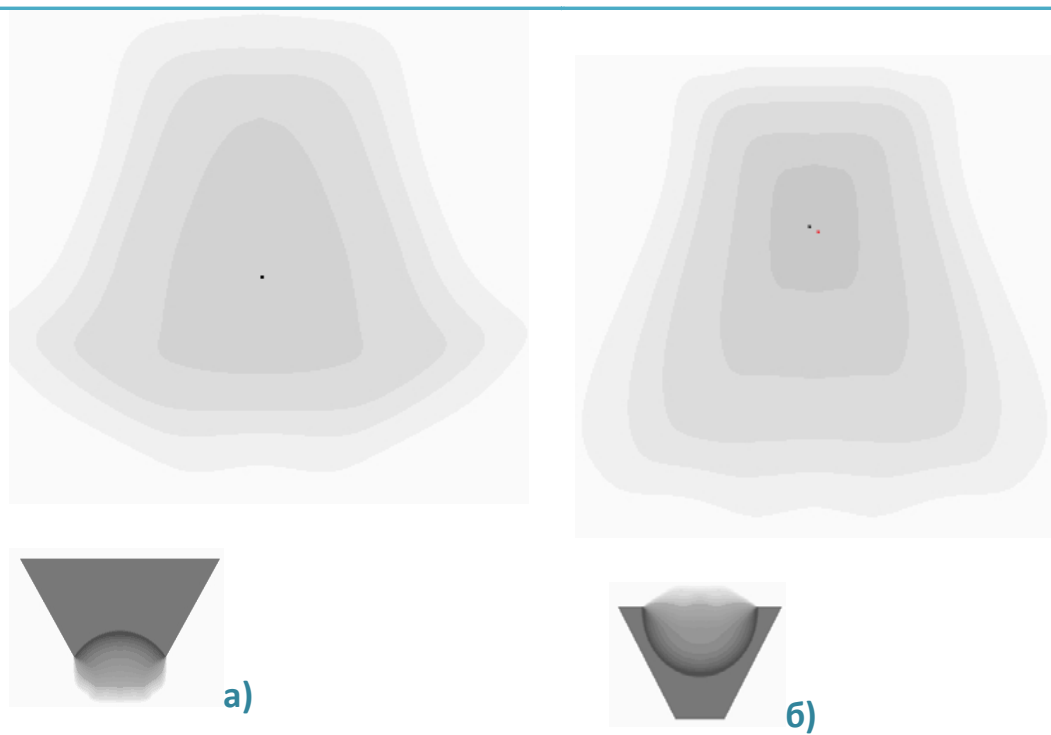


Рис. 3.3 Ізолінії щільності продуктів детонації зарядів: а - усіченого конічного (ініціатор зверху), б - усіченого конічного (ініціатор знизу), в - циліндричного.

орієнтації усіченого конусного заряду, а потім - місця його ініціювання;

- умови ініціювання визначають переважний напрямок розвитку силового поля по нормалі в бік, протилежний місцю ініціювання;

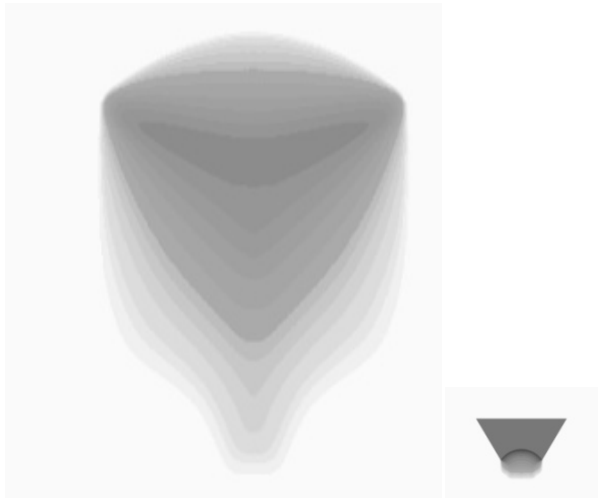
- за необхідності отримання посиленого бічного (радіального) ефекту конусний заряд варто ініціювати від широкої основи з одночасним призначенням раціонального кута нахилу бічної поверхні конуса.

У цьому сенсі також характерна форма силового поля вибуху циліндричного заряду, ініційованого з нижньої основи: найбільша відстань між сусідніми ізолініями також спостерігається в напрямку розвитку детонаційного процесу (рис. 3.3, в).

Наведене означає, що управління динамікою і напрямком розвитку силового поля можливе розташуванням ініціатора з протилежної основи заряду для розвитку процесу в напрямку, в якому має бути зосереджена енергія вибуху. Характерним елементом процесу є формування силового поля по осі конусного заряду. У напрямку поширення детонаційного процесу у часі в силовому полі по осі конуса спочатку формується випереджуючий імпульс, як це видно на проміжних кадрах розвитку процесу (рис. 3.4а,б). Слід відмітити деяку різницю у формі цього імпульсу, однак його наявність не пов'язана з місцем ініціювання заряду, а першочергово визначається формою заряду. Надалі цей імпульс і силове поле вздовж осі зупиняється в розвитку і починає розширюватися радіально в бічному напрямку. Фактично цей процес виглядає як послідовне осьове, а далі бычне вклинювання поля в середовище, що руйнується, яке відбувається в зоні впливу меншої основи конуса (рис. 3.4).

Покадровий аналіз розвитку силового поля показує, що його конфігурація визначається не лише формою самого заряду, а й умовами ініціювання.

а)



б)

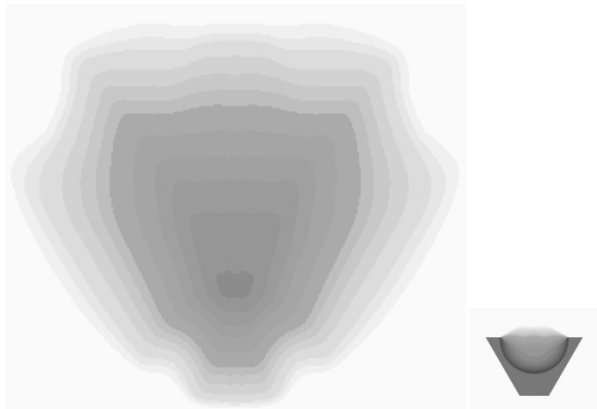


Рис. 3.4 Проміжні стадії розвитку силового поля від вибуху заряду конічної форми при його ініціюванні: *а* - з вузької основи, *б* - з широкої основи

Відмічається характерний для даної форми заряду звужений осьовий імпульс уздовж осі конуса, відмінний від розширеної форми поля при вибуху циліндричного заряду. Одночасно у варіанті ініціювання з широкої основи конуса проявляється характерне випереджуюче бічне розлітання

продуктів вибуху, тобто місце ініціювання впливає на розподіл в просторі енергії вибуху конусного заряду і на відповідний напрямок розвитку детонаційного процесу. Оскільки ініціювання в зазначеному варіанті відбувається з широкої основи усіченого конуса в напрямку вузької основи, більш чітко виявляється вплив бічних похилих поверхонь заряду. Особливості спостережених ефектів мають бути використані в технології масового висаджування на відкритих гірничих роботах, де обов'язковою складовою місцевого механічного ефекту вибуху є домінуючий бічний напрямок розвитку деформацій середовища на рівні підосви уступу.

3.2. Особливості збудження детонаційного процесу в свердловинному заряді вибухом кінцевого бойовика

Нормальний розвиток детонаційного процесу в свердловинному заряді відповідає величині паспортної швидкості детонації D за умови її стаціонарного розвитку по довжині заряду. З цим критерієм функціонально пов'язані такі термодинамічні параметри вибуху, як теплота, детонаційний тиск, середній тиск в свердловині, масова швидкість продуктів вибуху, їх температура, що визначають його механічний ефект, тобто руйнівну дію в породному масиві

Для надійного і повного детонаційного розкладання подовженого заряду з найбільш поширених в гірській практиці малочутливих ВР на основі аміачної селітри виключно важливим є обґрунтування параметрів і геометрії розташування мінімального бойовика. Основним силовим параметром бойовика вважають створюваний ним детонаційний тиск

$$P_d = \rho D^2 / (n + 1), \quad (3.4)$$

де ρ - щільність ВР, n - показник політропи продуктів вибуху проміжного детонатора (ПД). Цей показник суттєво залежить від швидкості детонації ВР проміжного детонатора. Для досягнення високих значень P_d

використовують, як правило, потужні індивідуальні ВР високої щільності, або їх суміші в пресованому або литому стані. Іншим параметром ініціюючого імпульсу є його тривалість, яка, в свою чергу, зростає при збільшенні маси проміжного детонатора $m_{\text{ПД}}$. Від потужності ПД і відповідно його детонаційних властивостей залежить рівень і стабільність детонаційного процесу в подовженому заряді, який можна уявити схематично профілями швидкості детонації на рис.3.5.

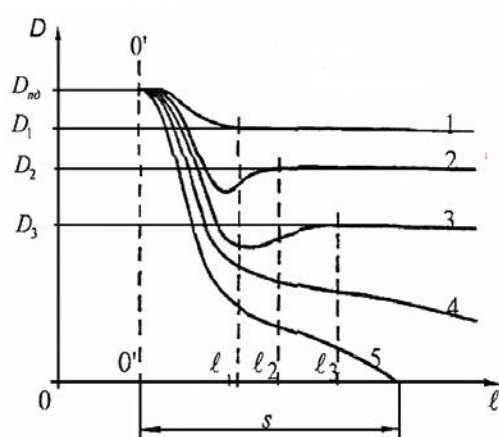


Рис. 3.5 Схема перехідних процесів в зоні розгону детонації в циліндричному заряді в залежності від швидкості детонації проміжного детонатора [12]:

- 1 - високосхвисткісний стабільний режим детонації,
- 2, 3 - низькосхвисткісні стабільні режими детонації,
- 4, 5 - згасаючі режими детонації.

У так званий зоні розгону, тобто в зоні встановлення характерного рівня швидкості детонації для даної промислової ВР параметр D змінюється на відстані l від проміжного детонатора уздовж заряду. Високосхвисткісний режим детонації (крива 1) означає хорошу збалансованість детонаційних характеристик ПД і подовженого заряду вибухової речовини. Режим ініціювання детонації D_1 є енергетично найбільш ефективним.

Криві 2 і 3 характеризують стабільні, але енергетично знижені режими детонації D_2 і D_3 , при яких зростає ширина зони розгону S . Відповідно ця

частина заряду працює в недосконалому (некерованому і непередбачуваному) режимі.

Криві 4,5 відповідають загасаючому режимові вибухового перетворення заряду не тільки на довжині S , а й надалі, тобто по всій довжині l . В цьому випадку властивості ВР заряду і ПД не збалансовані між собою. Такий режим або неприпустимий на практиці або вимагає періодичної підтримки рівня швидкості детонації шляхом застосування додаткових проміжних ініціаторів (ПД). У реальному свердловинному заряді вигляд кривих $D(l)$ може бути набагато складнішим в залежності від умов підривання і фізичного стану заряду.

Виняткову увагу необхідно приділити цьому процесові в умовах масового вибуху в зв'язку з широким застосуванням в практиці вибухової справи низькочутливих найпростіших вибухових сумішей типу ANFO, водомістких вибухових сумішей, а також емульсійних вибухових речовин тощо. Ефективність застосування таких ВР визначається повнотою вибухового розкладання всього заряду по його довжині.

У балансі енергії вибухового розкладання істотний обсяг втрат енергії вибуху належить хімічному і тепловому чинникам, а саме – розлітання вибухової речовини з периферії заряду, неповноті його хімічного розкладання, тобто протіканню хімічних реакцій в неоптимальному режимі, і, як наслідок, неідеальності термодинамічних процесів.

Згідно з відомою схемою детонації лінійного заряду в районі бойовика залежно від детонаційних характеристик існує зона з нестійким режимом детонації - зі зниженою або підвищеною швидкістю переміщення детонаційного фронту.

Область зазначеної нестабільності згідно з даними [17] може змінюватися в межах 2...7 радіусів подовженого заряду. За межами цієї зони швидкість детонації теоретично повинна стабілізуватися і підтримуватися за рахунок наявності зони хімічної реакції.

Однак, як впливає з експериментальних даних [17, 73], навіть при використанні потужної ВР в бойовику на даній ділянці подовженого заряду може спостерігатися на початковому етапі різке падіння швидкості детонації значно нижче штатної та подальше її періодичне зростання по довжині заряду, що пов'язується в першу чергу з інерційністю процесу збудження детонації бойовиком в заряді ВР. Відомо, що під час вибуху циліндричного заряду (шашки тротилу або ін. ВР) в процесі проходження по бойовику детонаційної хвилі, ініційованої вибухом ініціатора, відбувається бічне розлітання продуктів детонації по нормалі до поверхні бойовика і відповідно втрати енергії. Вплив цих втрат на загальний ініціюючий імпульс може бути досить відчутним. У зв'язку з цим введено поняття активної маси заряду, якій відповідає його активна довжина.

З огляду на складність аналізу механізму роботи бойовика в масі заряду вибухової речовини, варто оцінити роль активної частини ініціатора, застосовуючи спрощену схему ініціювання - проміжний ініціатор не розміщений в самому тілі промислового заряду, а контактує лиш торцем з основним зарядом. Така схема дозволяє більш чітко виділити не тільки основні закономірності роботи бойовика, але і дає можливість оцінити його ефективність у зв'язку з його типом і параметрами. На процес формування ініціюючого імпульсу впливають геометричні параметри ініціатора, а саме, його діаметр і загальна маса. Із загальної маси заряду бойовика тільки певна, обмежена її частина формує в осьовому напрямку ініціюючий імпульс.

Для забезпечення максимальної ефективності вибуху необхідно створити умови повної реалізації його енергетичних можливостей. Відносна потужність застосовуваних проміжних детонаторів переважно вища порівняно з ініційованим свердловинним зарядом, тобто ініціювання свердловинного заряду відбувається в режимі перестисненої детонації.

При вивченні сучасних досліджень щодо впливу конструкції проміжних детонаторів на здатність ініціювання свердловинних зарядів, звернуто увагу на працю [97], де розглядається процес ініціювання проміжних детонаторів конічної форми, виготовлених з простої рецептури вибухової речовини (АС + метанол), що виготовляється на місці проведення вибухових робіт. Досліджувався вплив конструкції ПД на їх ініціюючу здатність в свердловинному заряді. Розглянуто усічені конічні конструкції ПД з кутом конусності від 15° до 45° [97] (рис. 3.6).

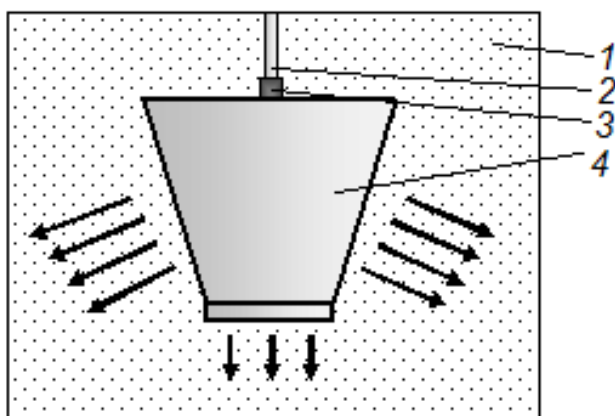


Рис. 3.6 Проміжний конічний детонатор в свердловині [97]: 1 - заряд; 2 - хвилевод; 3 - капсуль-детонатор; 4 - конічний проміжний детонатор

З дослідів, виконаних автором, виявлено, що в конусному заряді при ініціюванні з широкої торцевої частини детонаційна хвиля поширюється по нормалі до бічних твірних конуса, створюючи підвищений тиск між бічною поверхнею конусного заряду ПД і стінкою свердловини. Автор [97] вважає, що силові лінії фронту детонації, звужуючись від кута конусності ПД, охоплюють весь стовпчик ініційованого заряду, обмеженого стінкою свердловини, і концентрують імпульс детонаційної хвилі від проміжного детонатора по всьому перетину свердловинного заряду уздовж його осі.

При збільшенні кута конусності верхній діаметр проміжного детонатора (бойовика) наближається до діаметра ініційованої вибухової речовини свердловинного заряду, що має сприяти рівномірному

ініціюванню на всьому поперечному перетині заряду. Таким чином, автор дійшов висновку, що вся енергія ініціюючої вибухової речовини в осьовому напрямку не виходить за межі свердловини.

Таке припущення вимагає більш детального розгляду в зв'язку з отриманими нами матеріалами математичного моделювання. На рис. 3.7 порівнюються фази розвитку силового поля навколо усіченого конічного заряду, ініційованого від меншої (а) і більшої (б) основ конуса. Розгляд геометрії представлених сімейств ізоліній силового поля приводить до висновку, що внаслідок відмінності форми силових полів уздовж осі конусного заряду щодо більшої і меншої основ їх орієнтація може істотно вплинути на формування зони розгону детонації з трьох причин:

орієнтація конічного бойовика широкою основою в бік розвитку детонаційного процесу забезпечує більшу повноту його контакту з масою ВР свердловинного заряду;

з розширенням основи бойовика, що межує з зарядом в осьовому напрямку, слід очікувати збільшення його активної маси.

Хоча і в меншій мірі, але місце ініціювання бойовика також впливає на форму силового поля - варіант на рис. 3.7,б більш прийнятний, оскільки завдяки пласкій поверхні силового поля він забезпечує одночасність збудження детонаційного процесу в площині контакту з зарядом ВР з боку широкої основи і відповідно одночасність ініціювання основного заряду в напрямку його осі.

З боку вузької основи бойовик забезпечує уздовж його осі формування клиновидного енергетичного потоку. За певних параметрів бойовика він може виконати роль, покладену на заряд перебуру.

Зрозуміло, що не вся енергія прямого конічного ПБ витратиться на формування детонаційного процесу в осьовому напрямку. Виходячи з фізики розвитку процесу детонації, частина енергії такого ПБ витрачається в бічному напрямку, забезпечуючи технологічно важливі ефекти, пов'язані з

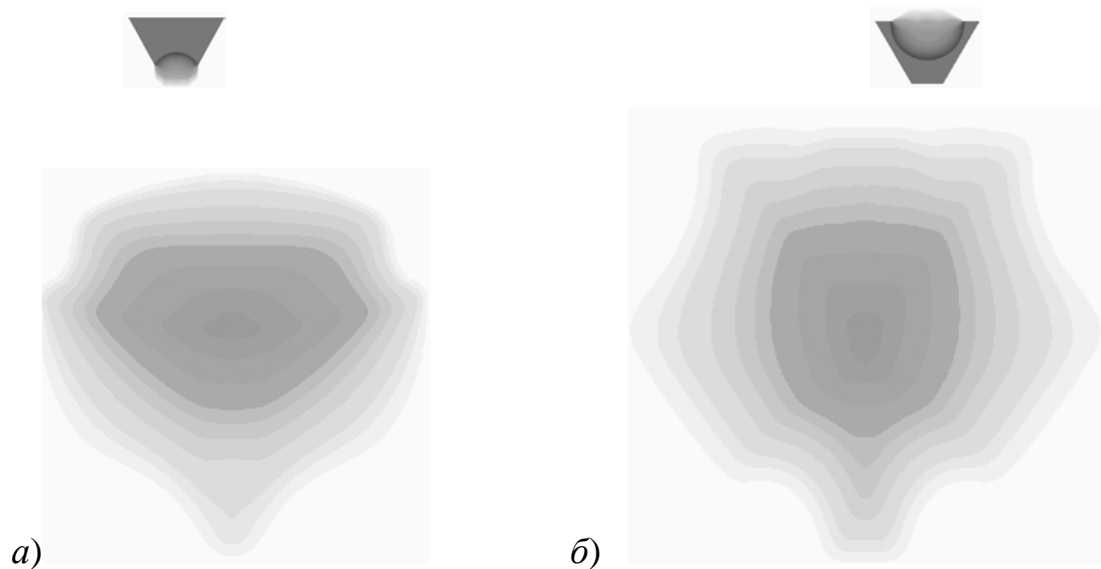


Рис. 3.7 Порівняння фаз розвитку силового поля при підриванні конічного бойовика з його ініціюванням: а - від вершини, б - від основи

пошкодженням суцільності поверхні свердловини зі створенням умов для формування відривних тріщин в кутовій зоні її дна.

Таким чином, усічений конічний бойовик, встановлений співвісно з циліндричним зарядом в його донній частині та ініційований з широкої основи і орієнтований вузькою основою в напрямку перебуру, виконує потрібне призначення:

- формування енергетичного потоку по нормалі до похилої поверхні конічного заряду в кутову зону дна свердловини;
- ініціювання нормального детонаційного процесу в осьовому напрямку;
- формування суміжних зустрічних полів напружень і деформацій, спрямованих в умовах одночасного підривання сумарно в бік приповерхневого шару.

Експериментальні модельні дослідження впливу крайових ефектів вибуху подовженого клиновидного заряду викидання виявили особливості

формування поперечного перерізу виїмки і відповідно його камуфлетної і фугасної складових в залежності від кута клиноподібності в перетині заряду і його орієнтації щодо вільної поверхні.

Зазначені закономірності поповнюють знання фізичних процесів, пов'язаних з розробкою техніки формування енергетичного потоку під час вибуху бойовика конічної форми для посилення механічної дії в напрямку кутової зони в дні свердловини і створення умов для формування горизонтальної відривної тріщини в площині підшви уступу.

Відоме явище розлітання масових часток продуктів детонації заряду по нормалі до його поверхні має практичне використання в накладних і кумулятивних зарядах, а також може сприяти розвитку нових методів ведення вибухових робіт з урахуванням крайових ефектів вибуху зарядів кінцевих розмірів і складної форми.

Комп'ютерне моделювання процесу формування енергетичного поля навколо зосереджених зарядів трикутного і прямокутного перетину свідчить про підвищення інтенсивності ізоліній щільності продуктів вибуху в напрямках, нормальних до сторін відповідних перетинів. Помітно ослаблюється інтенсивність поля в кутах чотирикутного перетину і в кутових зонах трикутного перетину заряду. Таким чином формується грушоподібна форма «ізодеңс» навколо конусного заряду, яка є інструментом орієнтації розвитку механічного ефекту вибуху.

Покадровий аналіз розвитку силового поля, виконаний в розділі 3.1, показує, що його конфігурація визначається не лише формою самого заряду, а й умовами ініціювання. Відмічається характерний для даної форми заряду звужений осьовий імпульс уздовж осі конуса, відмінний від розширеної форми поля при вибуху циліндричного заряду. Одночасно у варіанті ініціювання з широкої основи конуса помітне характерне випереджуюче бічне розлітання продуктів вибуху.

Таким чином, місце ініціювання впливає на розподіл в просторі енергії вибуху конусного заряду і на відповідний напрямок розвитку детонаційного процесу. Оскільки ініціювання в зазначеному варіанті відбувається з широкої основи усіченого конуса в напрямку вузької основи, більш чітко проявляється вплив бічних похилих поверхонь заряду. Завдяки їм домінує бічний напрямок розвитку деформацій середовища на рівні підосви уступу. Доцільно розглянути аналітично характер розподілу поля напружень та деформацій вздовж похилої бічної поверхні конічного заряду, що в якості проміжного бойовика розташовується і підривається в нижній (донній) частині свердловинного заряду.

3.3. Пріоритетний напрямок розвитку механічного ефекту вибуху конічного заряду

В останній час значна кількість наукових праць з вивчення вибухових явищ в свердловинах обмежених розмірів присвячується процесам деформування гірських порід з поділом процесу на високошвидкісну хвильову і більш повільну масову стадії [2,15,24, 74, 78]. Особлива увага приділяється ускладненим умовам формування в просторі руйнованої зони в кінцевих частинах подовженого заряду [58, 60,70,77,79,81], в яких на відміну від основного міжсвердловинного простору суттєво змінюється геометрія деформованої зони. На ці явища впливає маса, детонаційні характеристики, місце розташування та геометрія проміжного бойовика. При цьому складна архітектура свердловинного заряду дозволяє підсилити дію заряду або в осьовому напрямку, або відхилити енергетичний потік в горизонтальній площині для створення зародкової тріщини на рівні нижнього торця свердловини. Відома техніка відхилення енергетичного потоку шляхом використання інертних конічних вставок з оптимальним кутом розкриття конуса [13,58]. Але більш ефективно застосувати придонний заряд складної форми для орієнтації потоку енергії вибуху в напрямку кутової зони в дні свердловини, або просто встановити проміжний

бойовик конічної форми в дні свердловини співвісно з зарядом, звернутий широкою основою конуса в сторону розвитку детонації. Розташований в нижній частині заряду, такий бойовик при його орієнтації широкою основою вгору, тобто у вигляді зворотного конуса, може вирішувати одночасно три завдання. В першу чергу такий конічний проміжний детонатор забезпечує оптимальний режим ініціювання свердловинного заряду завдяки максимальному контакту торцевої поверхні бойовика своєю широкою основою з ініційованим зарядом. В ідеалі верхня широка основа бойовика, яка контактує з зарядом, за площею має наближатись до поперечного перерізу заряду (рис. 3.8) [60].

Розглянемо аналітично можливості керування геометрією силового та деформаційного поля через застосування оберненого конічного проміжного детонатора (бойовика). Приймаємо, що в якості бойовика використовується литий тротил, в якості свердловинного заряду – сумішева ВР типу ANFO з відповідними детонаційними характеристиками.

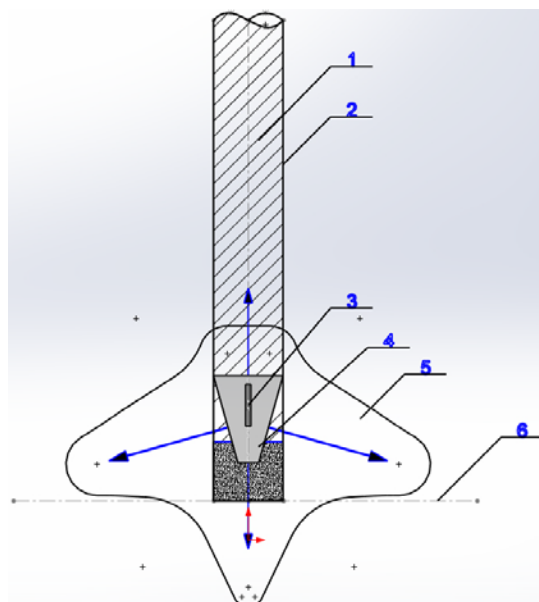


Рис. 3.8 Схема розвитку силового поля в нижньому торці заряду: 1 - свердловинний заряд, 2 - свердловина; 3 - капсуля, 4 - бойовик; 5 - контур фронту хвилі напружень від вибуху бойовика, 6 - підшва уступу; 7 - осевий імпульс; 8 - напрямок детонації свердловинного заряду,

9 - демпфуючий шар, 10 - напрямок розклинюючої дії в площині підшви уступу

Оскільки критичний діаметр литого тротилу $d_{кр} = 8...10$ мм, можна вважати, що в разі ініціювання бойовика посередині його висоти в бойовику у формі усіченого конуса поширюється сферична детонаційна хвиля з центром в точці ініціювання. Конічний бойовик являє собою осесиметричну фігуру. Праву частину його центрального перетину показано на рис. 3.9. В цій частині відбуваються всі вибухові явища, які характеризують дію бойовика.

Для їх дослідження введемо декартову систему координат з початком в центрі бойовика, або в т.О (рис. 3.9). У цьому випадку рівняння фронту поширення детонаційної хвилі з центром в середині висоти центрального перетину бойовика запишемо у вигляді:

$$x^2 + y^2 = (Ct)^2,$$

де C - швидкість детонаційної хвилі, t - час.

Рівняння лінії перетину верхнього основи бойовика з віссю Y має вигляд:

$$y = H/2;$$

Рівняння лінії перетину нижньої основи бойовика з віссю Y має вигляд

$$y = - H/2;$$

Рівняння лінії перетину бічної конічної межі бойовика з площиною xOy запишемо у вигляді прямої

$$y = x \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - OE.$$

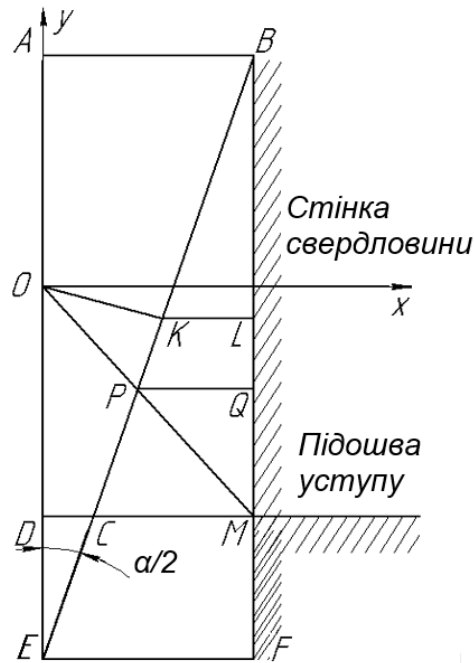


Рис.3.9 Схема проміжного бойовика в декартовій системі координат X –Y

Відзначимо, що поширення фронту детонаційної хвилі описується кривою другого порядку (колом), тому детонаційна хвиля підходить до граней кінцевого бойовика в двох точках одночасно, але під різними кутами (Рис.3.10).

Розглядаючи бойовик з ініціюванням вибуху в центрі по його висоті, розглянемо витікання продуктів детонації в повітряний простір між кінцевою гранню бойовика, до якої детонаційна хвиля підходить в двох точках, і поверхнею свердловини.

Будемо вважати, що в середньому розлітання продуктів детонації відбувається по нормалі до всіх поверхонь заряду, тобто в напрямку максимального градієнта тиску [59].

З рис.3.11 видно, що рівнодіюча швидкість при такому припущенні може бути визначена за формулою:

$$q_k = \sqrt{u_n^2 + \left(\frac{2}{k-1} C_H\right)^2 + \frac{4}{k-1} u_n C_H \cos \varphi}, \quad (3.3)$$

де u_n - швидкість руху продуктів детонації з фронтом детонаційної хвилі;
 k - показник політропи; $2C_H / k - 1$ - швидкість розлітання продуктів

детонації в повітряний простір між бойовиком і поверхнею свердловини по нормалі;

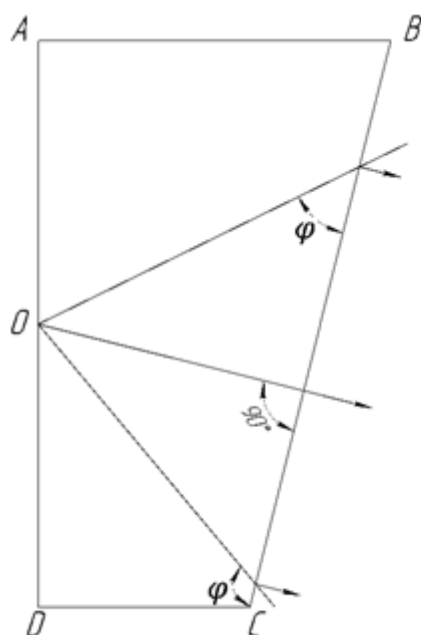


Рис. 3.10 Схема поширення сферичної ДХв

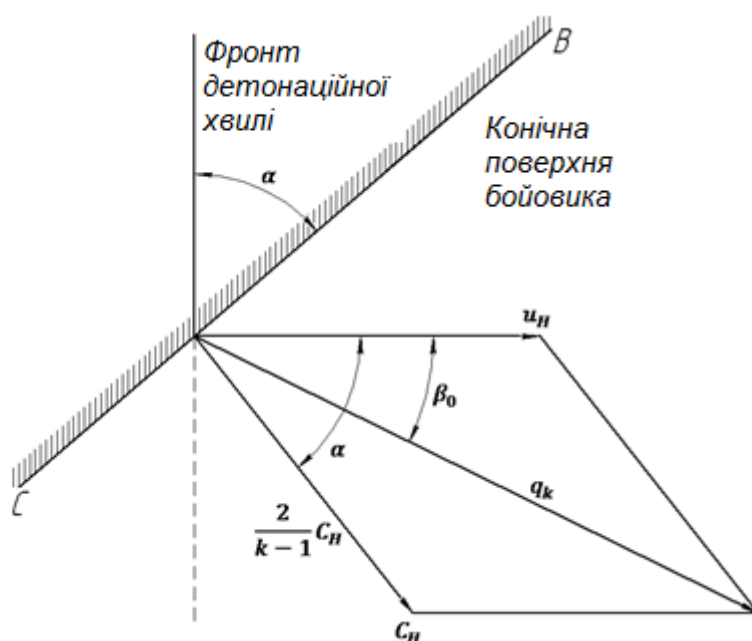


Рис 3.11 Схема до розрахунку швидкості розлітання ПД

φ - кут між фронтом детонаційної хвилі і конічною поверхнею бойовика. Перетворюючи співвідношення (1) і вважаючи, що

$$u_n = C / k + 1; \quad C_n = kC / k + 1,$$

переходимо до наступного співвідношенню (C - швидкість детонаційної хвилі)

$$q_k = \frac{C}{k^2 - 1} \sqrt{5k^2 - 2k + 1 + 4k(k - 1)\cos\varphi}, \quad (3.4)$$

що в нашому випадку при $k = 3$ для одномірного розлітання дає

$$q_k = \frac{C}{4} \sqrt{10 + 6\cos\varphi}.$$

Для верхнього краю конічної поверхні бойовика $q_k = 0,979 C$; для нижнього краю конічної поверхні бойовика $q_k = 0,979C$; значення рівнодіючої швидкості при $\varphi = 90^\circ$, тобто в точці, де фронт детонаційної хвилі вперше дотикнеться конічної поверхні бойовика (рис.3.10):

$$q_k = 0,791 \text{ С.}$$

Кут повороту вектора швидкості β_0 (рис.3.11) можна визначити із співвідношення:

$$\sin \beta_0 = \frac{2}{k-1} \frac{C_H}{q_k} \sin \varphi = \frac{2k \sin \varphi}{\sqrt{5k^2 - 2k + 1 + 4k(k-1) \cos \varphi}}. \quad (3.5)$$

Визначимо межі зміни кута повороту швидкості β_0 в залежності від зміни кута φ . Для верхнього кута конічного бойовика $\sin \beta_0 = 0,213$; для нижнього - $\sin \beta_0 = 0,374$.

При $\varphi = \frac{\pi}{2}$; $\sin \beta_0 = \frac{2k}{\sqrt{5k^2 - 2k + 1}}$, що при $k = 3$ є $\frac{3}{\sqrt{10}}$, звідки $\beta_0 = 73^\circ$. Це відповідає відхиленню потоку від нормалі до конічної частини бойовика на 17° . Відомо, що в разі розлітання продуктів детонації в повітряний простір тиск в них швидко падає і газ при поширенні стає ідеальним, а показник політропи при визначенні тиску на стінку свердловини наближається до значення $k = 7/5$.

У нашому випадку при $\varphi = 90^\circ$, $q_k = 2,8 \text{ С}$, $\beta_0 = 80^\circ$, отже, відхилення від нормалі складає всього 10° .

З вище наведеного випливає, що при побудові епюри навантаження від вибуху конічного бойовика можна наближено вважати, що продукти детонації вилітають по нормалі з конічного зрізу бойовика.

За щільності тротилу 1500 кг/м^3 швидкість його детонації $C = 6900 \text{ м/с}$. Для визначення точок падіння ударної детонаційної хвилі на конічний зріз бойовика треба вирішити спільно рівняння фронту поширення детонаційної хвилі і рівняння конічного зрізу бойовика:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= (Ct)^2, \text{ припустимо, що } Ct = r \\ y &= x \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - OE. \quad OE = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} / 2 - H/2; \\ x_{1,2} &= \frac{-\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} (\frac{H}{2} - R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}) \pm \sqrt{(\frac{H}{2} - R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2})^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} - (1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}) [(R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - \frac{H}{2})^2 - r^2]}}{1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Еюра поширення швидкостей розлітання $q_k = 2kC/(k^2 - 1)$ продуктів детонації з конічного зрізу бойовика по його конічній поверхні ВС при

повній його детонації ($t_{\text{vax}} = 12,1 \cdot 10^{-6} \text{с}$) представлена на рис.3.12. Максимальне значення швидкості q_k в точці К дорівнює 5175 м/с. ВК = 77,3мм, КС = 58,3 мм.

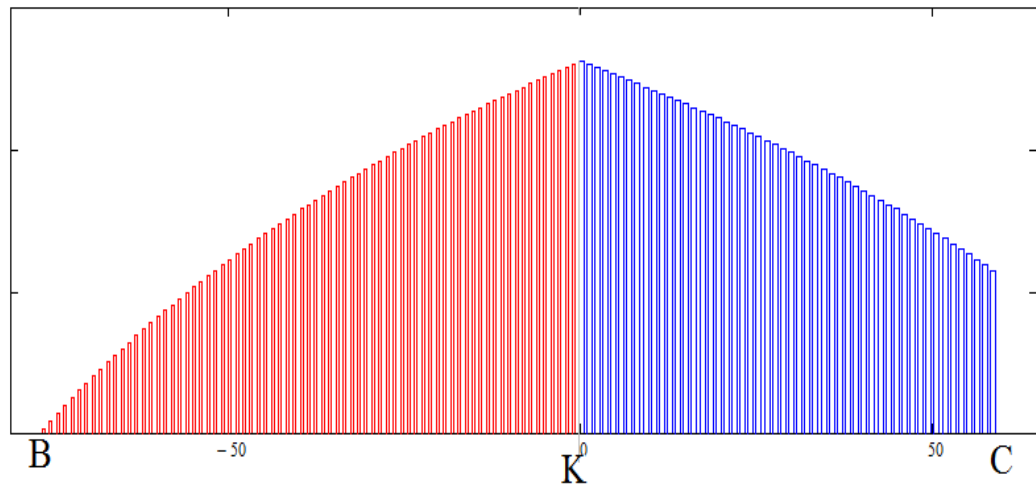


Рис. 3.12 Епюра поширення швидкості розлітання ПД з бічної поверхні конуса

Швидкість потоку середовища за фронтом детонації, який створює тиск на стінку свердловини, для тротилу можна вважати $q_{\text{cp}} = 1800 \text{м/с}$ [59]. Пропорційно швидкостям потоку середовища за фронтом детонації виглядає епюра розподілу тиску по конічній поверхні:

$$p_{\text{cp}} = \rho_0 4k^2 q_{\text{cp}}^2 / (k^2 - 1)^2 \quad (3.7)$$

Максимальне значення тиску в точці К при повній детонації конічного бойовика ($t_{\text{max}} = 12.1 \cdot 10^{-6} \text{с}$) дорівнює

$$P_{\text{cp}} = 27,43 \cdot 10^8 \text{Па}.$$

Особливу увагу при розгляді процесу руйнування гірської породи при вибуху торцевої частини свердловинного заряду повинно бути приділено умові рівноваги в системі " продукти детонації - гірська порода " [78]. Рівновага в даній системі при утворенні торцевої порожнини можлива тільки за умови рівності кінцевого тиску ПД в порожнині і радіального

напруження $P = P_{пр}$ на стінці порожнини, рівного граничному значенню $P_{пр}$ для даної породи.

$$P_{пр} = - P_k \quad (3.10).$$

Для виконання умови (3.10) величина тиску ПД повинна зменшуватися на кілька порядків. Вважається, що величина зони руйнування від вибуху донної (торцевої) частини свердловинного заряду еквівалентна величині подібної зони при вибуху сферичного заряду, радіус якого дорівнює радіусу свердловини.

Скористаємося цими умовами для визначення зони руйнування при вибуху конічного бойовика, розташованого в "АНФОніті" в торці свердловинного заряду.

Визначимо часи приходу детонаційної хвилі на стінку свердловини ВМ від комбінованого заряду «тротилловий конічний бойовик – основний заряд, наприклад, аніоніту (ANFO) між бойовиком і стінкою свердловини». Для цього беремо радіуси детонаційної хвилі тротилу, відповідні точкам В, Q, К, С і координати точок В, Q, К, С з рівняння (4) і визначаємо потрібні відстані від конічного зрізу тротилового бойовика до стінки свердловини.

З рис. 3.13 слідує:

час приходу детонаційної хвилі в спільну точку В

$$t_B = OB / C_{тр} = 12,1 * 10^{-6} \text{ с};$$

час приходу детонаційної хвилі в точку W

$$t_W = OR / C_{тр} + RW / C_{ан} 10,9 * 10^{-6} \text{ с};$$

час приходу детонаційної хвилі в точку L

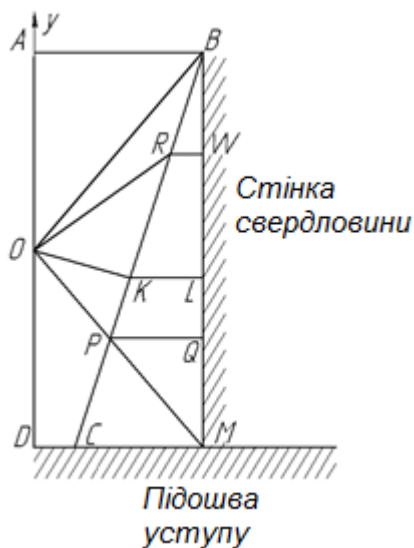


Рис. 3.13 Схема до розрахунку деформаційних параметрів під дією комбінованого торцевого заряду «конічний бойовик – свердловинний заряд ANFO»

$$t_L = OK / C_{тр} + KL / C_{ан} = 11,5 * 10^{-6} \text{ с};$$

час приходу детонаційної хвилі в точку Q

$$t_Q = OP / C_{тр} + PQ / C_{ан} = 13,9 * 10^{-6} \text{ с};$$

час приходу детонаційної хвилі в точку M

$$t_M = OC / C_{тр} + CM / C_{ан} = 22,9 * 10^{-6} \text{ с}.$$

На рис. 3.14 8 ці часи відкладені на осі абсцис обернено пропорційно приходів детонаційної хвилі від вибуху ANFOніту в дані точки. По суті це і є конфігурація зони руйнування кварциту.

Згідно [78] визначимо параметри комбінованого циліндричного заряду в торцевій частині свердловинного заряду. Загальний об'єм комбінованого циліндричного заряду дорівнює

$$V_{ц} = \pi R^2 H = 1104 \text{ см}^3; V_{тр} = 480 \text{ см}^3;$$

$$V_{ан} = 624 \text{ см}^3$$

$$\rho_{ср} = (480 * 1500 + 624 * 900) / 1104 = 1160 \text{ кг/м}^3.$$

Визначимо середню швидкість детонації комбінованого заряду «тротил-ANFO»

$$C_{cp} = [(C_{тр}^2 + C_{ан}^2)/2]^{0,5} = 5320 \text{ м/с.}$$

Середній тиск детонаційної хвилі від вибуху цього заряду на стінку свердловини визначимо згідно [59 1]

$$p_{cp} = \rho_{ВВ} C_{cp}^2 / 8 = 41,04 \cdot 10^8 \text{ Па,}$$

а руйнівну дію комбінованого заряду торцевої частини свердловинного заряду уявімо згідно дії сферичного заряду радіуса [78]:

$$R_0 = R$$

$$P = P_{cp} (R_0 / R_0 + r)^3.$$

Прийнявши для кварциту за межу міцності параметр $P_{ГР} = 400 \text{ МПа}$, отримаємо умову для визначення межі області руйнування, на якій досягається в при свердловинному масиві прийняте значення $P_{ГР}$ від дії комбінованого заряду в нижній торцевій частині свердловини з урахуванням розвитку процесу в часі на стінці свердловини (рис.3.14).

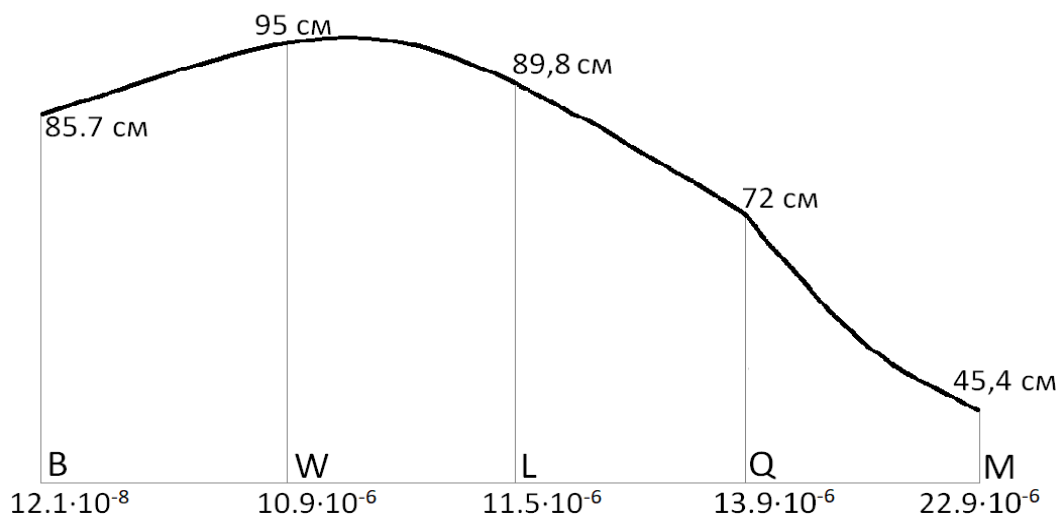


Рис.3.14 Розрахунковий радіус області руйнування по висоті свердловини в області нижнього торця

Аналіз конфігурації зони руйнування гірської породи від вибуху комбінованого торцевого заряду вказує на те, що на досліджуваній області свердловини між точками В-М випереджуюча дія комбінованого заряду

відзначається в межах ділянки W-L, тобто помітно нижче порівняно з даними рис.3.9, що узгоджується з грушовидною формою силового поля від вибуху оберненого конічного заряду (розд.3.1), отриманою математичним моделюванням.

Аналіз конфігурації зони руйнування гірської породи від вибуху комбінованого торцевого заряду вказує на те, що на досліджуваній області свердловини між точками В - М випереджуюча дія комбінованого заряду відзначається в межах ділянки W - L, тобто помітно нижче порівняно з даними рис.3.14, що узгоджується з грушовидною формою силового поля від вибуху оберненого конічного заряду, отриманою математичним моделюванням.

За інтенсивністю та формою поля превалюючий напрямок розвитку силового поля забезпечує бічну розклинюючу дію на контакт торця свердловини з породним масивом, скеровану в напрямку підосви уступу. Отже, в результаті розрахунку конічна форма бойовика за його одночасної детонації з основним зарядом свердловинної ВР позитивно впливає на отримання потрібного превалюючого напрямку дії в системі «бойовик-заряд» в бічному напрямку. Така дія має сприяти утворенню порушень у стінці свердловини на рівні її дна, які в подальшому розвитку детонаційного розкладу свердловинного заряду мають розвинутись в горизонтальну радіальну тріщину відриву. Більш предметно вплив форми допоміжного ініціатора, а саме, кута нахилу бічної поверхні бойовика, розглянуто за спрощеною якісною постановкою незалежно від присутності основного заряду в експериментальних дослідженнях на піщаних моделях із застосуванням зарядів клиновидної форми.

3.4. Вплив кутового параметра на прояви механічного ефекту вибуху клиновидного заряду

Завдяки специфічній грушоподібній формі силового поля вибух оберненого конічного проміжного ініціатора (бойовика) в донній частині свердловинного заряду забезпечує імпульсне навантаження на породний масив в області нижнього торця свердловинного заряду з утворенням потужного осьового енергетичного викиду та з подальшим акцентом на бічну розклинюючу дію в площині підшви уступу. Це дозволяє розраховувати на зменшення величини перебуру частково, а в умовах розробки крихких гірських порід - можливо повністю вирішити цю проблему. Вірогідність створення умов підробки масиву в донній частині свердловини за участю вибуху бойовика конічної форми в значній мірі визначається його параметрами - масою, висотою заряду і, що важливо, шириною його основи і пов'язаною з ними величиною кута нахилу бічної поверхні конуса. Оскільки цей кут є важливим параметром, в роботі виконано експериментальні дослідження, в яких завдання реалізується в спрощеному вигляді. Оскільки першою метою цих досліджень є встановлення ролі «конічності» заряду бойовика, тобто фактично кута нахилу бічної поверхні конуса до його осі, Викладені нижче матеріали дослідження отримані в умовах піщаної моделі із застосуванням призматичних клиновидних зарядів викидання постійної маси і змінного кута в основі клина, а також різної орієнтації вершини клина щодо вільної поверхні. В такій постановці експериментів клиновидний заряд являє собою лінійну розгортку конуса, попередньо математично модельованого. Автор вважає, що така постановка значно спрощує умови експерименту,

Вибухова техніка підготовки гірської маси до виймання постійно вдосконалюється як за рахунок розробки нових прогресивних вибухових матеріалів, так і шляхом постійного поглиблення знань про механізм формування механічного ефекту вибуху. В останні роки вчені відповідного

профілю звернули увагу на феномен, відомий як явище кумуляції [29], але в масовому застосуванні, особливо в гірничих технологіях, практично ігнорований - це феномен прояву крайових ефектів вибуху зарядів кінцевих розмірів, різної архітектури і конфігурації.

В роботі [43] він розглянутий у зв'язку з моделюванням торцевого ефекту вибуху свердловинного заряду в зоні перебуру, а у працях [18,19] зроблено порівняння енергоефективності руйнування граніту подовженими зарядами призматичної форми, з яких випливає, що найменшою енергоемністю руйнування скельного масиву володіють подовжені призматичні заряди трикутного поперечного перетину, тобто клиновидної форми. Автори встановили [19], що енергоефективність призматичних зарядів квадратного і циліндричного перерізу близька за величиною, хоча квадратні призматичні заряди забезпечують менший вихід переподрібнених фракцій. Наведена інформація потребує подальшого вивчення і пояснення з позицій геодинаміки вибуху.

Зазначені відмінності, в першу чергу, пояснюються характером взаємодії зарядів своєю бічною поверхнею зі скельним масивом. Цей характер заснований на випромінюванні масових часток продуктів вибуху строго по нормалі до поверхні заряду, в даному випадку - до бічної. Як відомо, згадане явище успішно використовується для кумуляції енергії вибуху в оборонній техніці, а також і в гірничій справі [44]. В умовах контактного вибуху механічний ефект, який пов'язаний в першу чергу з бризантною дією заряду, особливо чутливий до його форми, оскільки вона диктує розподіл потоку продуктів вибуху (ПД), або енергетичного потоку з поверхні заряду, що контактує з середовищем.

Доказ цього положення надають дослідження (розд.3.1) з комп'ютерного моделювання осесиметричного процесу вибухового розкладання зарядів різного поперечного перерізу, а саме, усіченого трикутного з кутом при основі 60° і прямокутного [61]. На рис.3.15 16,*a,b*

наведено характер ізолій щільності продуктів вибуху цих зарядів. Положення поля ізолій на малюнку відповідає орієнтації ініціювання заряду. Порівняння наведених сімейств ізолій свідчить про наступне:

- форма поля навколо прямокутного заряду практично відповідає положенню бічних поверхонь перетину заряду, тобто максимальні ефекти реалізуються по нормалі до поверхні заряду, мінімальні - в кутових зонах;

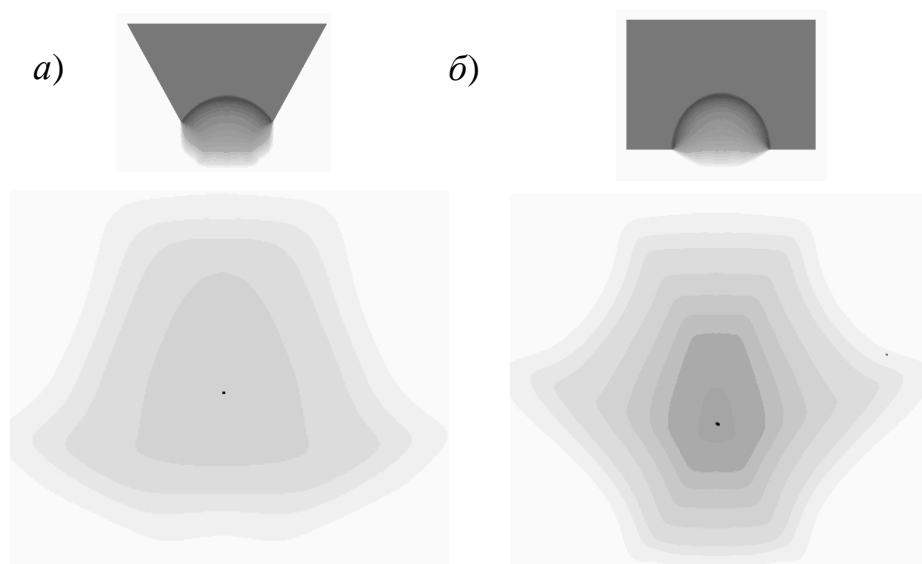


Рис.3.15 Характер формування енергетичного поля при вибуху зарядів трикутного (а) і прямокутного (б) поперечного перерізу

- певне симетричне зміщення поля щодо центра заряду, позначеного точкою на рис.3.15 3.17,б, свідчить про його зв'язки з напрямком розвитку детонаційного процесу;

- поле навколо трикутного заряду має більш рівномірні обриси, але складну конфігурацію, набуваючи «грушоподібної» форму з розширенням в області вершини трикутника, що свідчить про переважне масовому переміщенні товарів вибуху по нормалі до бічних сторонах трикутника.

Таким чином, навіть побіжний аналіз якісного розподілу енергетичних потоків свідчить про відмінність цих процесів залежно від форми

поперечного перерізу заряду, що частково може пояснити наведені в згаданих публікаціях результати досліджень.

На відміну від циліндричного заряду з рівномірним навантаженням на поверхню циліндричної зарядної вироблення в згадуваних дослідженнях нерівномірність розподілу навантажень зростає при використанні заряду квадратного перетину і досягає максимуму при підриванні призматичного заряду трикутного перетину.

Відзначимо, що можливості управління механічним ефектом вибуху такого заряду не вичерпані, оскільки можна очікувати певних ефектів від зміни форми трикутного перетину, тобто через співвідношення між його висотою і шириною основи. У цьому випадку перевага в напрямку концентрації енергетичних потоків належить або рівномірно трьом сторонам, або основі, або бічним сторонам призми трикутного перерізу.

В ході досліджень було встановлено вплив на механічний ефект вибуху форми трикутного перерізу призматичного заряду (клина), а саме - співвідношення висоти і основи трикутника в поперечному перерізі призми (рис. 3.16,а) в двох варіантах орієнтації поперечного перерізу заряду. Заряд укладався вершиною клина вниз (1) і вгору (2), тобто в бік вільної поверхні. Зміна співвідношення висоти і основи в трикутному перерізі заряду $k=h/a$ фактично означає зміну кута α в його основі (рис.3.17).

Оскільки в досліджах оцінюються видимі параметри виїмки - ширина, глибина і її форма, очікується, що цей кут неодмінно повинен вплинути на співвідношення основних параметрів отриманої виїмки.

Дослідженнями одночасно вивчено вплив геометрії зарядів з трикутним поперечним перетином на характерні параметри воронки викидання (рис.3.17), а також на зв'язок цих параметрів з орієнтацією основи призматичного заряду щодо вільної поверхні. Оскільки у вертикальному розрізі призма має форму трикутника, енергія вибуху такого



а)



б)

Рис.3.16 Подовжені призматичні заряди: а - орієнтація вершини клина вниз (1) і вгору (2); б - призматичний заряд в моделі масиву

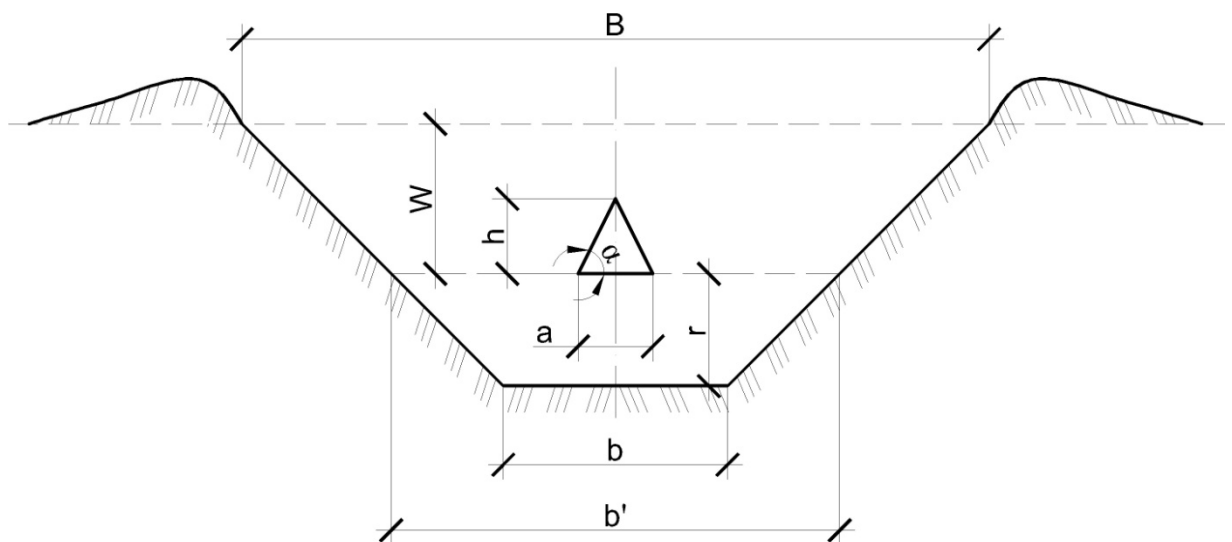


Рис.3.17 Досліджувані параметри перерізу виїмки, утвореної вибухом призматичного заряду

заряду ідеально повинна випромінюватись рівномірно по нормалі до основи трикутника і до двох бічних поверхонь. Однак, як свідчать дані моделювання (розд.3.1), на форму силового поля впливає місце ініціювання та відповідно напрямок розвитку детонаційного фронту

Враховуючи отримані дані математичного моделювання силового поля навколо заряду конічної форми, слід очікувати існування зв'язку характерних параметрів воронки викиду з орієнтацією клиновидного заряду в масиві фізичної моделі. З'ясування цього моменту особливо важливо для подальшого прийняття рішення щодо раціональної орієнтації конічного бойовика в скважинном заряді з урахуванням його комплексної дії в архітектурі донної частини заряду.

Вважаємо, що параметри зони викиду за межі виїмки і зони ущільнення ґрунту під зарядом, їх співвідношення між собою можуть якісно охарактеризувати закономірності формування силового поля при вибуху призматичного заряду. Умовно в якості мірила металної (фугасної) складової вибуху приймаємо частину площі перерізу виїмки між горизонтом закладання заряду та вихідною поверхнею модельного ґрунтового масиву.

. Враховуючи отримані дані математичного моделювання силового поля навколо заряду конічної форми, слід очікувати існування зв'язку характерних параметрів воронки викиду з орієнтацією клиновидного заряду в масиві фізичної моделі. З'ясування цього моменту особливо важливо для подальшого прийняття рішення щодо раціональної орієнтації конічного бойовика в скважинном заряді з урахуванням його комплексної дії в архітектурі донної частини заряду.

Вважаємо, що параметри зони викиду за межі виїмки і зони ущільнення ґрунту під зарядом, їх співвідношення між собою можуть якісно охарактеризувати закономірності формування силового поля при вибуху призматичного заряду. Умовно в якості мірила металної (фугасної)

складової вибуху приймаємо частину площі перерізу виїмки між горизонтом закладання заряду та вихідною поверхнею модельного ґрунтового масиву. Згідно зі схемою розташування заряду в масиві на рівні підстави трикутного перетину заряду закладалися т.зв. «свідки» - легкі металеві пластини, з фіксацією їх положення по глибині і відстані від заряду. Під час деформаційного процесу пластини переміщуються з відповідним шаром ґрунту, займаючи разом з ним нове положення, яке фіксується шляхом розкопування після вибуху в межах моделі.

У новому положенні ці «свідки» дозволяють фіксувати кінцевий контур ситуації, виїмки, оскільки в дослідах можливе часткове зворотне сповзання та осипання у виїмку викинутого піщаного ґрунту, здатне внести корективи до вимірювання параметрів

На рис.3.18 наведено відносні значення визначального параметру експериментальних виїмок - поперечного перерізу з урахуванням зміни маси зарядів в експериментах, які обчислювались як співвідношення S/S_3 , де S - виміряна площа перерізу, S_3 - площа трикутного перерізу заряду.

Результати вимірювань представлені на рис.3.18 сімейством кривих, де попарно наведені залежності камуфлетних і фугасних складових відносного поперечного перерізу виїмки від кута α для двох положень призматичного заряду: прямого, тобто вершиною в бік горизонту, і зворотного, вершиною вниз:

- криві 1,2 - відповідно для металеві і камуфлетної складових перерізу виїмки при вибуху заряду, встановленого вершиною трикутника вгору;

- криві 3,4 - відповідно для металеві і камуфлетної складових перерізу виїмки при вибуху призматичного клиновидного заряду, встановленого вершиною вниз;

- криві 5,6 - відповідно загальна площа перерізу виїмки від вибуху прямого і зворотного зарядів.

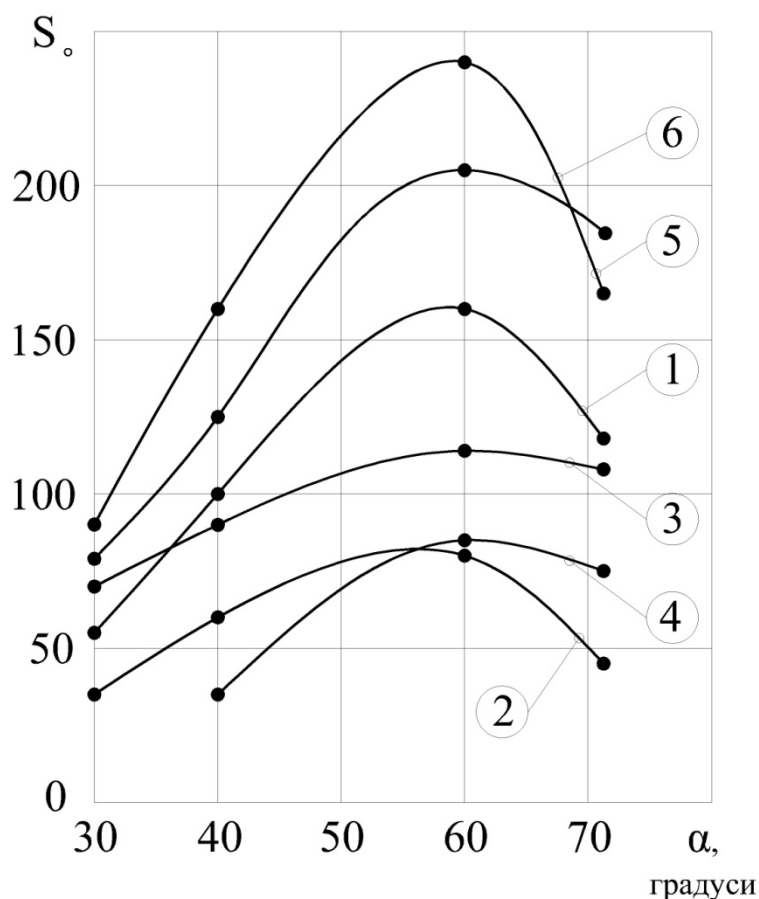


Рис.3.18 Залежності параметрів відносного поперечного перерізу виїмок викидання від кута α

Основною ознакою наведених на рис.3.18 залежностей є наявність вираженого максимуму в обох компонентах перетину виїмок і в загальному перерізі. Цей максимум з незначними відхиленнями, які можна віднести до точності вимірювань, відповідає значенню кута $\alpha = 60^\circ$. Показово, що цей параметр характерний як для прямого, так і для зворотного положення зарядів. Значення цього параметра збігається з відомими рекомендаціями по формі інертної клиноподібної вставки в донній частині шпуру, яка забезпечує оптимальні умови для розпирання газовим потоком вибуху стінок шпуру з метою утворення закової тріщини [23].

З порівняння кривих 2 і 4 випливає висновок, що величина кута α в 60° є межею, за якою в діапазоні $30...60^\circ$ частина камуфлетної складової

механічного ефекту вибуху прямого клиновидного заряду переважає порівняно із зворотним клином. По досягненню 60° і більше камуфлетна складова для зворотного клину практично не змінюється, тоді як для прямого клиновидного заряду різко зменшується. Щодо сумарної площі перерізу виїмки за вибуху на викидання (відповідно криві 5,6) то вони за формою схожі між собою з деяким переважанням за абсолютною величиною площі виїмок від вибуху прямого клиновидного заряду і при значенні « α » близько 65° і вище практично зближуються за значенням у межах точності вимірів.

Таким чином, змінюючи орієнтацію клиновидного заряду відносно горизонту (вгору або вниз клином) і маніпулюючи формою трикутного перерізу призматичного заряду, тобто ступенем клиноподібності цього заряду (змінюючи показник « k » трикутника), можна впливати на інтенсивність енергетичного потоку вибуху на бічних поверхнях клина. Це має значення не тільки для досліджуваного вибуху на викидання, коли в залежності від технологічних умов потрібно посилити його камуфлетну (бризантну) або фугасну складову. Мається на увазі в якості основного завдання використання результатів дослідження для формування енергетичного потоку при вибуху бойовика конічної форми в напрямку кутової зони в дні свердловини. В першу чергу слід взяти до уваги результати, що відносяться до бризантної (камуфлетної) складової в експериментах, і особливо – до варіанту зворотного клину (крива 4), оскільки саме в цьому варіанті порівняно з прямим клином (крива 2) відзначається переважання камуфлетного ефекту над фугасним для значень кута α , що перевищують 60° . Можна вважати, що раціональний кут при основі трикутного перерізу бойовика може перебувати в діапазоні $60...70^{\circ}$.

З порівняння залежностей 1 і 3 випливає, що металеві складові для прямого і зворотного клину в межах відносно невеликих кутів α (до 40°) мало відрізняються між собою з деяким перевагою зворотного клину, а далі

мають однакову тенденцію до зростання, досягаючи максимуму при $\alpha = 60^\circ$. При збільшенні кута α до 70° метальна складова для прямого клина різко зменшується (крива 1), а для зворотного клину (крива 3) практично не змінюється.

Встановлені закономірності лише умовно (у прив'язці до умов експерименту) віднесені до камуфлетної і метальної складових вибуху, оскільки безпосередньо на контакті всіх поверхонь заряду складної форми з середовищем характер його взаємодії подібний бризантному. Фактично дані експериментів свідчать про те, що при виборі способу орієнтації конічного бойовика в свердловинному заряді слід віддати перевагу варіантові зворотного клину (широкою основою в напрямку розвитку детонаційного процесу в основному заряді та вершиною або вузькою основою - в бік дна свердловини).

У розвиток наведених вище висновків, пов'язаних з формуванням силового поля і відповідного механічного ефекту навколо заряду конічної або клиноподібної форми, потрібно розглянути основний аспект роботи бойовика в свердловинному заряді – формування детонаційного фронту на початковій стадії вибуху проміжного ініціатора залежно від його форми, енергії та орієнтації в свердловинному заряді.

Що стосується процесів, які відбуваються в самому проміжному ініціаторі, можна відзначити роботи [8, 30, 83, 84], що вивчають проблему ініціювання промислового заряду. Ці роботи переважно розглядають за замовчуванням бойовик у вигляді короткого циліндричного (або призматичного) потужного заряду ВР, що контактує з торцем основного заряду. Лише частина енергії вибуху цього бойовика, або $4/9$ загальної його енергії, у вигляді енергії так званої активної маси витрачається на ініціювання. Про інші $5/9$ енергії відомо, що вона витрачається на бічне та зворотне розлітання продуктів вибуху (ПВ) бойовика. Подібні явища відбуваються і при вибуху кумулятивного заряду, однак частково вони

можуть бути зменшені за рахунок міцної оболонки [73,92]. Однак у варіанті застосування бойовика трикутного поперечного перерізу (в нашій роботі – усіченого конуса) в нижній частині свердловинного заряду бічне розлітання продуктів вибуху виконує корисну роботу, спрямовану на утворення зародкової закольної тріщини в кутовій зоні дна свердловини.

Висновки

Аналіз результатів математичного моделювання вибуху зворотного конічного заряду від свідчить про особливості динаміки його розвитку силового поля, які полягають у першочерговому формуванні осьового випереджуючого імпульсу незалежно від напрямку розвитку детонаційного процесу з подальшим радіальним розширенням поля в бічному напрямку; силове поле набуває грушовидної форми, розвиток якого виглядає як бічне вклинювання продуктів вибуху збічної похилої поверхні конуса в деформоване середовище. Особливості спостережених ефектів мають бути використані в технології масового висаджування на відкритих гірничих роботах, де обов'язковою складовою місцевого механічного ефекту вибуху є домінуючий бічний напрямок розвитку деформацій середовища на рівні підосви уступу.

Усічений конічний бойовик, встановлений в донній частині свердловинного заряду співвісно з ним та ініційований з широкої основи і орієнтований вузькою основою в напрямку перебуру, виконує потрібне призначення - формування енергетичного потоку по нормалі до похилої поверхні конічного заряду в кутову зону дна свердловини, ініціювання нормального детонаційного процесу в осьовому напрямку та формування суміжних зустрічних полів напружень і деформацій, спрямованих в умовах одночасного підривання сумарно в бік приповерхневого шару.

Дані подальших аналітичних досліджень геометрії поля деформацій від вибуху оберненого конічного заряду в об'ємі свердловинного заряду

поблизу дна свердловини узгоджуються з результатами математичного моделювання та свідчать про наявність превалюючого напрямку дії в системі «бойовик-заряд» в бічному напрямку, що має сприяти порушенням у стінці свердловини на рівні її дна,

Порівняння в експериментальних дослідженнях бризантної дії вибуху заряду у формі клину прямої і зворотної орієнтації з різними кутами нахилу бічної поверхні свідчить про перевагу зворотної орієнтації клина в діапазоні кутів нахилу α від 60° до 70° , що відповідає напрямкові вектора розходження бічного імпульсу під кутом $30...40^\circ$ до поверхні дна свердловини або площини підосви уступу, що має розвинути процес формування горизонтальної радіально- кільцевої тріщини відриву.

РОЗДІЛ 4

ПАРАМЕТРИ МАСОВОГО ВИБУХУ СИСТЕМИ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ З УРАХУВАННЯМ КРАЙОВИХ ЕФЕКТІВ

4.1. Динаміка розвитку крайового ефекту вибуху суміжних свердловинних зарядів

Як слідує з отриманих в розділах 2.2, 2.3 закономірностей формування силового поля навколо окремого свердловинного заряду обмежених розмірів, в крайових зона рівень напружень в силовому полі окремого заряду згідно з рис.2.5 різко спадає (практично вдвічі) вже на рівні краю заряду, а при незначному подальшому віддаленні від його торця поле далі інтенсивно деградує. Це явище негативно відбивається на механічному ефекті з обох торців лінійного заряду, особливо при його обмеженій довжині.

В донній частині свердловинного заряду механічний ефект вибуху регулюється нижнім ініціюванням потужного бойовика з одночасним наданням йому конічної форми, яка орієнтувати в заданому напрямку силове поле (розд 3.3). Щодо верхнього торця свердловинного заряду, який відповідає за механічний ефект над зарядом в області набійки, можливості управління крайовим ефектом вибуху обмежені, оскільки слід зважати на небезпеку підсиленого розкидання окремих кусків породи. Відповідно параметри розташування свердловинних зарядів на уступі, орієнтуючись на чинник розкидання, в першу чергу забезпечують достатньою енергією лише нижню і центральну частини руйнованого уступу.

Цей факт підтверджується ґрунтовними теоретичними дослідженнями камуфлетної дії вибуху у верхній кінцевій частині свердловинного заряду обмеженої довжини [24, 26]. Автори, виконавши теоретичні побудови та комп'ютерні розрахунки параметрів і об'ємів камуфлетної фази вибуху, перенесли їх на реальні умови підривання свердловинного заряду тротилу

діаметром 250мм в граніті з довжиною набійки 6м. В результаті встановлено, що порода подрібнюється в зоні камуфлету до відмітки 0,625м від верхнього торця заряду, далі до відмітки 3,4м від торця заряду розвивається система тріщин, а в шарі вище 3,4м і до поверхні (6м від торця заряду) хвильова фаза породи не руйнує. Висловлено думку, що на дію поля напружень має накладатись квазістатична складова за рахунок переміщення породних шарів. Однак ця фаза залишилась не дослідженою. Крім того, торцевий ефект у верхній зоні уступу недостатньо характеризувати дією окремого свердловинного заряду. Представляє науковий інтерес, як на формування силового поля в області набійки вплине взаємодія торцевих частин суміжних зарядів. Важливою умовою такої взаємодії є одночасність дії імпульсів, за якої від суміжних зарядів створюються найбільш сприятливі умови для їх складання і відповідно умови для досягнення максимального механічного ефекту.

За аналогією з методикою моделювання подовженого заряду гірляндою зосереджених зарядів, застосованою в розділі 2.2, розглянуто закономірності формування силового поля від одночасного вибуху суміжних подовжених зарядів кінцевої довжини за їх нижнього ініціювання. В основу розрахунків параметрів силового поля закладено експериментальну залежність $\sigma(R)$, яка для зосередженого заряду має вигляд:

$$\sigma_{max} = K\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^\mu \quad (4.1)$$

На відміну від вибуху зосередженого заряду вибух подовженого заряду починається з поширення детонаційного фронту в кожному заряді з швидкістю C . Після виходу процесу на межу з породою формується фронт хвилі напружень в масиві між суміжними зарядами, який переміщується з швидкістю V . В реальних умовах динамічні явища ініціюються в нижньому торці заряду і поширюються як вздовж заряду в осьовому напрямку у вигляді детонаційного фронту, так і в радіальному напрямку, у вигляді

фронту хвилі напружень. На основі аналізу робіт [25, 26, 41, 42], присвячених динаміці формування силових полів вибуху, імпульс напруження в точці А гірського масиву виражається залежністю:

$$\sigma = 5\sigma_{\max} \sin\left(\frac{t - \Delta t}{T} \pi\right) e^{-10^3(t - \Delta t)}, \quad (4.2)$$

де σ_{\max} - максимальне значення напружень; t - час від початку процесу ініціювання заряду; T - період активної дії хвилі.

Для отримання уявлення про особливості закономірності розвитку силового поля від вибуху суміжних подовжених зарядів у крайових зонах, що відповідають областям перебуру і набійки, розглянемо схему взаємодії двох свердловинних зарядів довжиною H_0 (рис.4.1) у будь -якому умовно обраному середовищі. Умовні параметри середовища та заряду: висота уступу $H_0 = 10\text{м}$, довжина заряду $H_2 = 7\text{м}$, висота набійки $H_1 = 3\text{м}$, відстань між зарядами $a = 3\text{м}$, лінійна маса заряду $Q = 3,9\text{кг}/\text{м}$, коефіцієнти $k = 60$, $m = 20$, $K = 4,5 \cdot 10^5$, $\mu = 3,3$, $c = 5500\text{м}/\text{с}$, $v = 3000\text{м}/\text{с}$).

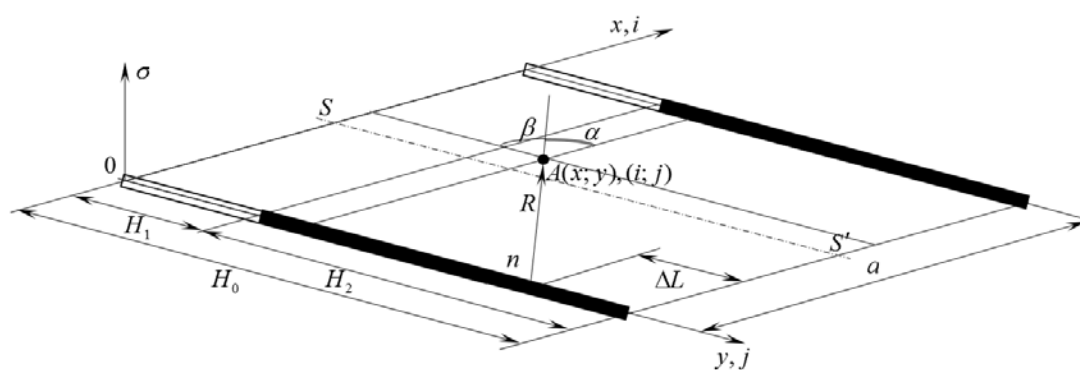


Рис. 4.1. Схема до розрахунку сумарного тиску від дії двох суміжних зарядів на осі симетрії $S-S'$

На рис.4.2 представлено приклад розподілу сумарних нормальних тисків, які виникають у площині між зарядами, визначених за системою рівнянь (2.25-2.28) при різних значеннях часу (дані розрахунків на рис.2 а-д в додатку В) стосуються області між зарядами, обмеженої параметром H_2 ,

позначеним на осі Y діапазоном значень глибини від 3м до 10м, та стосуються т.А, розташованої на однаковій відстані від обох суміжних зарядів, тобто на серединній осі симетрії $S-S'$ або Y ($a/2$). На наведених діаграмах верхні торці обох свердловинних зарядів фіксуються на позначці 3м, нижні – на позначці 10м. Ініціювання зарядів виконується від нижнього торця зарядів. Детонаційний процес закінчується в області вище верхнього торця зарядів на позначці 3м. Таким чином, розрахунком охоплено всю зону дії свердловинного заряду, включаючи міжзарядну область та особливо торцеві зони.

Аналіз наведених діаграм розподілу поля напружень в часі і просторі за умови взаємодії суміжних свердловинних зарядів в режимі нижнього одночасного ініціювання свідчить, що інтенсивність напружень на рівні між зарядами майже на порядок вища порівняно з напруженнями в породному шарі вище від верхніх торців зарядів, тобто на рівні набійки.

Для дослідження особливостей формування силового поля в шарі масиву на рівні набійки та порівняння їх рівня з аналогічними діаграмами в міжзарядному просторі побудовано відповідні діаграми тисків (рис.4 дод.D) окремо для породного шару на рівні набійки в діапазоні глибини 0...3м від поверхні.

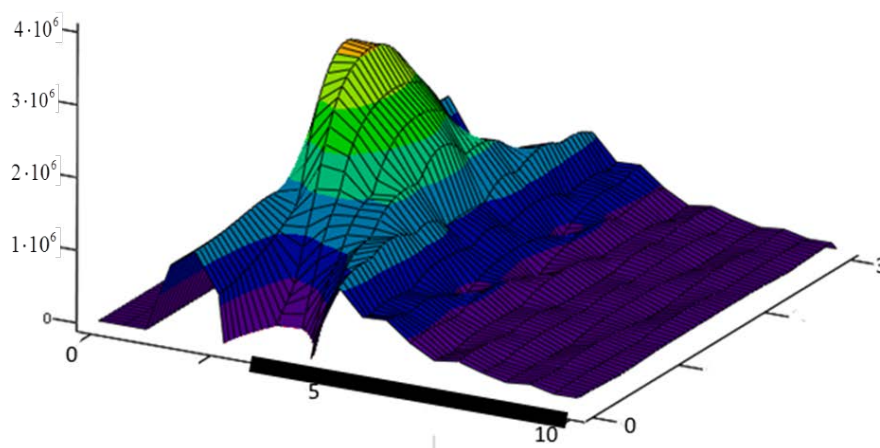
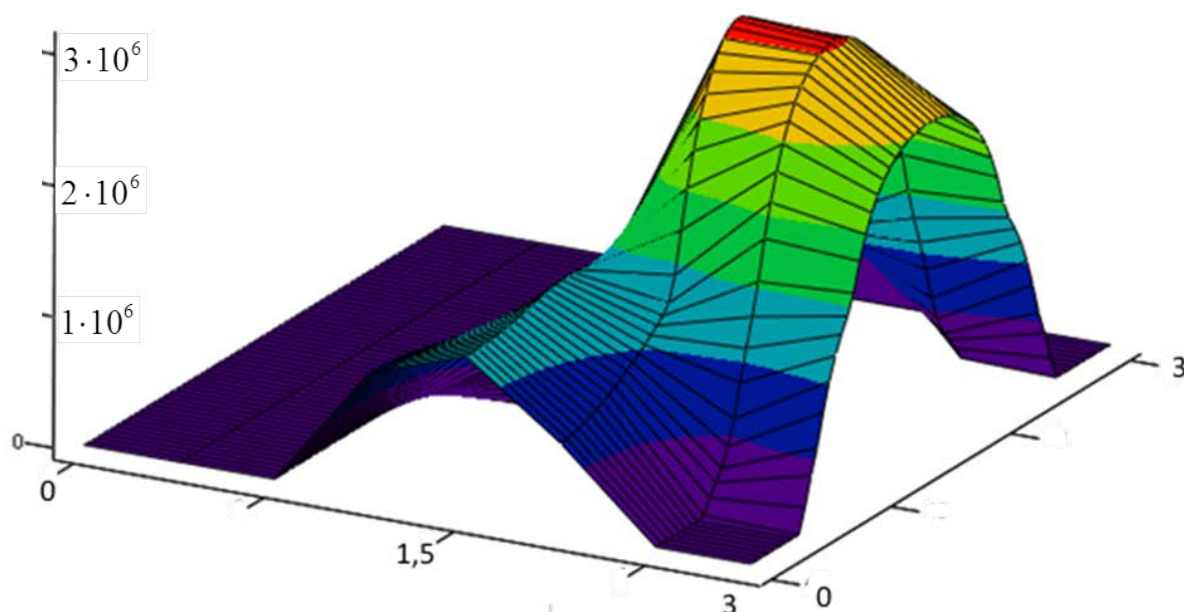


Рис.4.2 Приклад розрахунку сумарних напружень між суміжними зарядами на рівні торців в момент 0,002с після ініціювання суміжних зарядів (рис.3 дод. D)

Приклад розрахунку наведено на рис.4.3. Відповідно графіки рис.4 (дод.D) стосуються більш пізніх за часом епізодів, коли детонація суміжних зарядів завершується і лише продовжується поширення зустрічних силових полів на верхню (над торцями суміжних зарядів) область масиву, обмежену по висоті набійкою.



Час 0,0025с

Рис.4.3 Приклад розподілу поля напружень в масиві на рівні набійки у фіксований момент часу після одночасного ініціювання двох суміжних свердловинних зарядів (Рис. 4 дод.D)

З аналізу і порівняння наведених графіків можна зробити загальний висновок, що внаслідок дисипації енергії вибуху з відстанню від зарядів та взаємодії дисипуючих силових фронтів у центральній частині досліджуваного масиву між свердловинами встановлюється порівняно з міжзарядним ціликом на порядок менше значення сумарного тиску на висоті, позначеній як H_1 на рис. 4.1. Для підтвердження цього спостереження та більш детального аналізу стану силового поля в

центральної частині міжзарядного цілика, рівновіддаленій від осей суміжних зарядів на величину $a/2$, побудовано у фіксовані моменти часу діаграми розвитку тиску на осі симетрії системи двох суміжних зарядів (Додаток В, рис.9, $a-d$). На цих рисунках на осі У жирною лінією позначено межі розрахункового подовженого заряду довжиною 10м.

Завдяки такій постановці задачі картина розподілу тиску спрощується, перетворюючись з об'ємної в плоску.

За одночасного нижнього ініціювання суміжних зарядів більший сумарний ефект порівняно з поодиноким зарядом має бути досягнутий в середній зоні між зарядами, оскільки зустрічні фронти хвиль напружень в ідеалі зустрінуться по середній лінії одночасно, якщо не зважати на можливі неоднорідності в масиві, які можуть вплинути на швидкість проходження цих хвиль. Фактично можна в спрощеному варіанті встановити, як по висоті зарядів і набійки розподіляється максимально можливе сумарне значення тиску на відстані $a/2$ між двома суміжними свердловинними зарядами. Згідно з виконаними розрахунками (рис.4.6, $a-d$) побудовано зведений графік розподілу максимальних сумарних напружень на серединній осі між суміжними зарядами (рис.4.4), починаючи з глибини 10м, тобто з горизонту закладання нижніх торців суміжних зарядів.

З порівняння епюр напружень на рис.4.2 (максимальні напруження на виході з заряду) та на рис.4.6,в (напруження на серединній осі S-S' в межах площини між зарядами) видно, що руйнуючі напруження в останньому варіанті спадають більше ніж на 2 порядки (від $2,6 \cdot 10^8$ на межі з зарядом до $2,6 \cdot 10^6$ на відстані $a/2$), але, як свідчить практика, ще здатні руйнувати гірський масив. Однак особливу увагу слід приділити горизонтам поза межами торців подовженого заряду, тобто над і під кінцями заряду.

З графіка рис.4.4 слідує, що за умови нижнього ініціювання (глибина 10м без підсилення заряду проміжним ініціатором) одразу поза межами площини зарядів спостерігаються наступні ефекти:

в межах нижнього торця заряду (горизонт від 10м до 8м) спостерігається закономірно знижена інтенсивність сумарного силового поля, яку аналогічно даним про моделювання поодинокого подовженого заряду (розділ 2.3) можливо компенсувати підсиленням заряду в нижньому торці;

від рівня 8м і до рівня 3м, тобто до нижнього торця набійки інтенсивність сумарного силового поля зберігається максимальною і постійною; таким чином, завдяки нижньому ініціюванню вплив торцевого ефекту вибуху суміжних зарядів проявляється лише за межею площини зарядів, де силове поле інтенсивно різко слабшає і вже на глибині 2м від поверхні його інтенсивність зменшується вдвічі.

Характерною особливістю залежності на рис.4.4 є закономірність

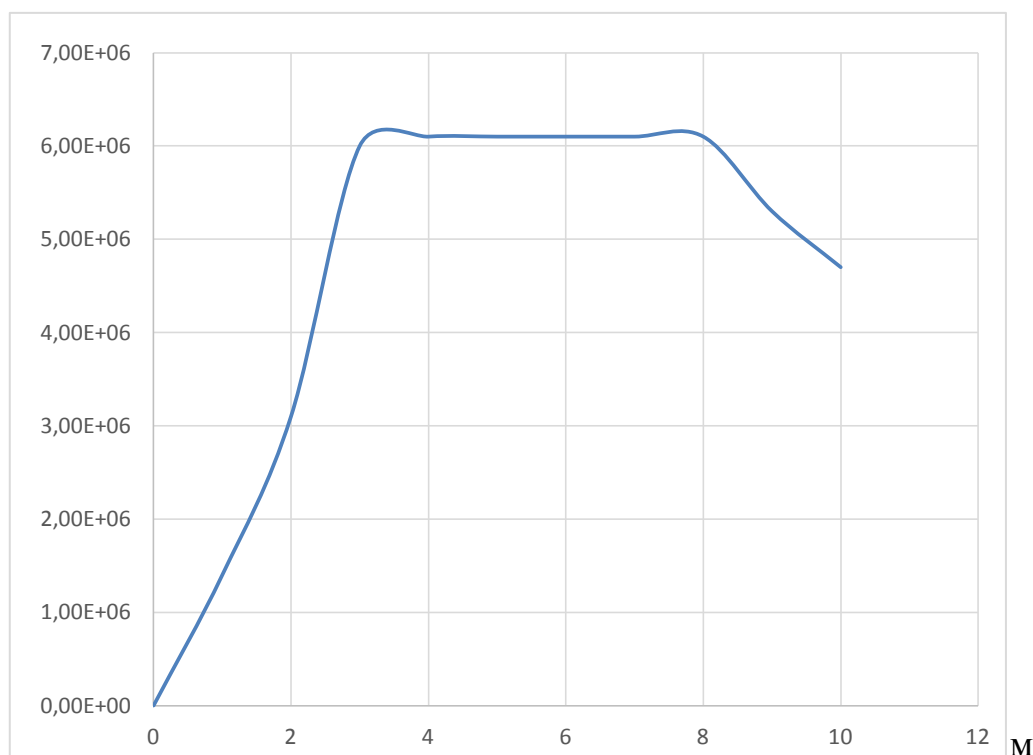


Рис.4.4 Розподіл максимальних сумарних напружень на середній осі симетрії S-S' в системі двох суміжних зарядів

формування силового поля в торцях подовженого заряду. І в нижньому, і у верхньому торцях заряду присутній механізм енергетичних втрат, пов'язаний з виродженням симетрії силового фронту.

Ці спостереження співпадають з наведеними раніше даними про суттєвий негативний вплив крайових ефектів вибуху подовженого заряду на формування поля напружень не лише в осьовому напрямку над зарядом, а й на рівні набійки (в середній зоні між зарядами). Логічно припустити, що якість подрібнення масиву в міжзарядній зоні на рівні набійки також погіршується і саме ця зона є одним з джерел виходу негабаритних фракцій. Виходячи з наведених даних, хвильові процеси, як руйнуючий фактор в масиві на рівні набійки, не слід ігнорувати, оскільки вони забезпечують в усьому руйнованому блоці попереднє ослаблення структурних зв'язків, тобто виконують підготовку масиву. Однак, на наш погляд, за основну роботу з руйнування масиву в межах верхнього торця заряду на рівні набійки в першу чергу відповідає механізм, пов'язаний з процесом формування воронки викидання (спушення) під дією вибуху верхніх торців свердловинних зарядів, та подальший механізм стикання породних мас за схемою, наведеною на рис.4.5.

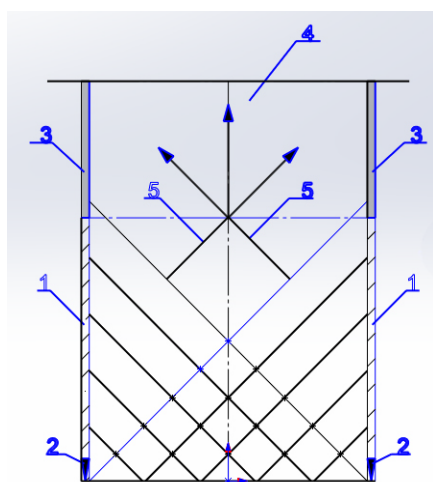


Рис.4.5 Схема взаємодії свердловинних зарядів розпушування в умовах одночасного нижнього ініціювання 1 - свердловинний заряд, 2 проміжний бойовик, 3 - набійка, 4 - нейтральний надторцевий шар породи, 5 - вектори переміщення взаємодіючих силових і деформаційних фронтів.

В зв'язку з цим належить більшу увагу приділити обливостям протікання деформаційних процесів в породному шарі над торцями зарядів. При цьому слід враховувати, що і крайові ефекти вибуху кожного окремого заряду, і сумарні крайові ефекти в міжзарядному просторі компенсуються в межах площини зарядів шляхом їх нижнього ініціювання через застосування потужних конічних бойовиків. Вони одночасно вирішують проблему перебуру та генерують зустрічні (під певним кутом) хвильові фронти, за якими слідують зустрічні масові зрушення. Представлена картина взаємодії силових полів та масових переміщень в міжзарядному просторі можлива лише за умови одночасного ініціювання суміжних зарядів, що протирічить концепції, закладеній в техніку короткосповільненого підривання. Разом з тим зустрічні зрушення на стадії висхідних масових переміщень в руйнованому міжзарядному об'ємі породи представляються нам новим ефективним елементом технології, що переймає досвід підривання за ефективною системою клинового або трапеційного вруба, але у вертикальному напрямку, тобто дія вруба спрямовується вгору в надторцевий породний шар на рівні набійки. Таким чином, закладається основа нової технології ведення масових вибухів групами зарядів з (2-х...3-х рядів, які висаджуються одночасно. Традиційні періоди мілісекундного сповільнення, потрібні для запобігання надмірного сейсмічного ефекту, встановлюються між цими групами, тобто реалізується комбінована схема КСП «вертикальний клин», в якій можуть бути використані результати вище наведених досліджень.

4.2. Енергетичні втрати вибуху в торцевих частинах свердловинного заряду

З досліджень, наведених в попередніх розділах, відомо, що в гірничих технологіях, в яких використовуються свердловинні заряди, неможливо уникнути негативних проявів крайового ефекту без застосування

спеціальних заходів. Особливо актуальною ця проблема стає для умов відкритої розробки родовищ на гірських схилах, коли проектант і технолог вимушені обмежувати габарити висаджуваного породного блоку на гірському схилі, в т.ч. зменшувати проектну висоту уступу і відповідно скорочувати довжину свердловинних зарядів. Скорочення довжини свердловинного заряду має негативно вплинути на якість вибуху, оскільки буде зростати роль торцевих частин в загальному механічному ефекті вибуху окремого заряду. Звичайно, в цьому разі впливає співвідношення між довжиною і діаметром заряду. При зростанні цього співвідношення зменшується участь торцевих частин, а отже і доля енергетичних втрат, викликаних виродженням циліндричної симетрії силового поля в сферичну. В абсолютному вираженні ці втрати залежатимуть в першу чергу від діаметра заряду.

Однак це твердження беззаперечне лише для умов вибуху заряду в умовах камуфлету, що більш характерне для роботи нижнього торця свердловинного заряду. Крім того, при нижньому методі ініціювання зарядів до енергії вибуху нижнього торця свердловинного заряду додається енергія вибуху проміжного детонатора (бойовика). Це призводить до коригування форми поля напружень вздовж осі заряду. В зв'язку з цим в подальших розрахунках беремо до уваги дію лише верхньої торцевої частини заряду.

Для умов вибуху верхнього торця вертикального свердловинного заряду поблизу вільної поверхні, тобто покрівлі уступу, формування механічного ефекту вибуху свердловинного заряду потребує спеціального дослідження. Особливістю роботи такого заряду є вплив вільної горизонтальної поверхні на механізм подрібнення. Верхній торець заряду в даних умовах працює в режимі викидання, а точніше, помірного спущення з дотриманням правил безпеки щодо посиленого розкидання окремих кусків породи, характерного для умов гірського схилу.

Очевидно, що масштаб деградації силового поля в торцевих частинах свердловинного заряду залежить від діаметра заряду і особливо – від його довжини. Видимо, саме в цих двох параметрах закладено основні можливості керування торцевими ефектами в достатньо складних гірських умовах.

Для практичного рішення цього питання виконано комплекс технологічних розрахунків з урахуванням основних вихідних параметрів масових вибухів. За базу для розрахунків взято досвід Човдарського кар'єру. Цей кар'єр розробляє в характерних для Республіки Азербайджан умовах гірських схилів родовище рудних кварцитів, порушених природними чинниками.

В розрахунках прийнято популярний діапазон діаметрів заряду в межах $d_3 = 105 \dots 215 \text{ мм}$ та висоти уступу в межах $H = 5 \dots 10 \text{ м}$. Розглянуто ефективність цих параметрів у сполученні з широко вживаними на відкритих гірничих роботах промисловими вибуховими речовинами - емульсійною вибуховою речовиною (ЕВР), грамонітом 79/21 та найпростішою ВР на основі аміачної селітри типу ANFO (табл.4.1).

Таблиця 4.1

Вихідні параметри промислових ВР

Тип ВР	Густина ρ , т/м ³	Питом витрата ВР q , кг/м ³	Лінійна маса p , кг/м при діаметрі заряду d_3 , мм		
			105	155	215
ЕВР	1,2	0,55	10,4	22,7	43,6
Грамоніт 79/21	1,0	0,55	8,7	20,5	36,3
ANFO	0,85	0,57	7,4	16,1	30,9

Розрахунками досліджується ефективність цих параметрів у різних можливих сполученнях типу ВР, висоти уступу та діаметра заряду. Під

(4.3)

(4.3)

Фактично через цей показник можна визначити відносні енергетичні втрати в заряді, викликані крайовими ефектами, або виродженням його осрової симетрії в сферичну на обох торцях (див. розд.2.1).

Традиційно розрахунок основних параметрів конструктивних елементів свердловинного заряду та розташування зарядів в системі масового вибуху [35] будується на визначенні базового параметру – лінії опору по підшві W_p (рис.4.6):

Рис.4.6 Схема до розрахунку параметрів розташування свердловинних зарядів на уступі

Формула (4.1) об'єднує комплекс параметрів розташування зарядів у системі - значення питомої витрати BP на спущення q , лінійної маси заряду p , висоти уступу H , довжини свердловини $L_{св}$, довжини перебуру $l_{пер}$, довжини заряду $L_{зар}$, висоти набійки $h_{наб}$, відстані між зарядами в ряду a , відстані між рядами b , коефіцієнта зближення зарядів $m = a/b$.

Ці параметри визначаються першочергово виходячи з механічного ефекту вибуху в міжсвердловинному просторі на рівні висоти заряду, але одночасно не можуть бути змінені на рівні перебуру та набійки незалежно від фактичних потреб в цих змінах. Тому як на рівні набійки, так і на рівні перебуру виникає потреба у додаткових технологічних рішеннях, що мають починатись з вивчення локальних процесів руйнування цих частин масиву.

В розділі 3 запропоновано до впровадження метод керування механічним ефектом вибуху в області перебуру шляхом нижнього ініціювання свердловинного заряду потужним проміжним бойовиком конічної форми. В продовження досліджень крайового ефекту вибуху короткого свердловинного заряду розглянемо питання, пов'язані з ефективністю вибуху суміжних свердловинних зарядів на рівні набійки, де фактично кожен заряд крім генерування подібного до сферичного силового поля формує в осьовому напрямку в квазістатичному режимі воронку спущення. Параметри цієї воронки визначаються на основі даних розрахунку згідно з (4.4) і в подальшому розглядаються у порівнянні з параметрами руйнованого міжсвердловинного цілика на рівні набійки.

Враховуємо, що маса породи у воронці спущення над верхнім торцем свердловинного заряду і відповідно довжина набійки пропорційні масі верхньої торцевої частини свердловинного заряду Q_t , що працює як

зосереджений заряд спущення. Відомо, що зосереджений заряд забезпечує ефект помірного спущення за умови показника дії вибуху $n = r/W = 0,6$, де параметри воронки спущення r і W відповідають радіусові воронки та глибині закладення центра заряду з масою Q_t .

Згідно з відомими методиками [34,35] величину набійки визначають із експериментального співвідношення :

$$l_{\text{наб}} = K_p W_p = (0,5 \dots 0,75) W_p. \quad (4.5)$$

Коефіцієнт в цій залежності обирається в залежності від породних умов (категорії тріщинуватості та міцності породи). Виходячи з конкретних породних умов Човдарського родовища, можна прийняти менше значення коефіцієнта, враховуючи, що кварцитові породи верхнього шару на схилі родовищі крихкі та структурно порушені. Однак умови підривання на схилі вимагають обрати більше значення цього коефіцієнта, оскільки існує небезпека вдвічі більшої відстані розкидання окремих кусків породи вниз по схилу. Саме це значення коефіцієнта $K_p = 0,75$ використовується у формулі (4.4). Виходячи з прийнятого значення довжини набійки, приступимо до розрахунку величини торцевої частини заряду, відповідальної за ефективність вибуху в режимі помірного спущення (значення показника дії вибуху приймаємо $n = 0,6$).

Щоб визначити довжину кінцевої частини свердловинного заряду, відповідального за руйнування масиву між торцем свердловинного заряду і поверхнею уступу, тобто на рівні набійки, уловимось, що маса цього заряду рівноцінна масі заряду викидання в межах конічної воронки (рис.4.7 ,а) з показником дії вибуху $n = r/W$. Тут параметр W означає глибину закладання центру сферичного заряду викидання, або центру рівноцінної за масою торцевої частини свердловинного заряду.

Умовно виділимо на кінці свердловинного заряду його торцеву частину довжиною h_t . Вважаємо, що її вибух забезпечує ефект помірного спущення шару породи над зарядом. Представимо короткий торець

свердловинного заряду у вигляді зосередженого заряду з радіусом r_0 , який спускає масив над верхнім кінцем заряду. На верхньому кінці циліндричного заряду на відстані $h_T/2$ нижче торцевої поверхні знаходиться центр півсферичної області руйнування радіусом R_{pc} (радіус дії уявного сферичного заряду, що відповідає значенню параметра W на рис.4.7,б). Прирівнюючи радіуси сферичної R_{pc} і рівноцінної циліндричної R_{pc} зон деформованої області на рівні цього центра, тобто в точках сполучення цих зон, прирівнюємо маси циліндричного заряду довжиною h_T з радіусом r_0 та уявного сферичного заряду радіусом r_0 .

Маса циліндричного відрізка (торця) визначиться через його довжину і лінійну масу свердловинного заряду:

$$Q_T = p \cdot h_T, \quad (4.6)$$

Маса сферичного аналога торцевого заряду, що працює на викидання або спущення визначиться згідно з [12]:

$$Q^p = 0,33 \cdot q_H \cdot W^3 \quad (4.7)$$

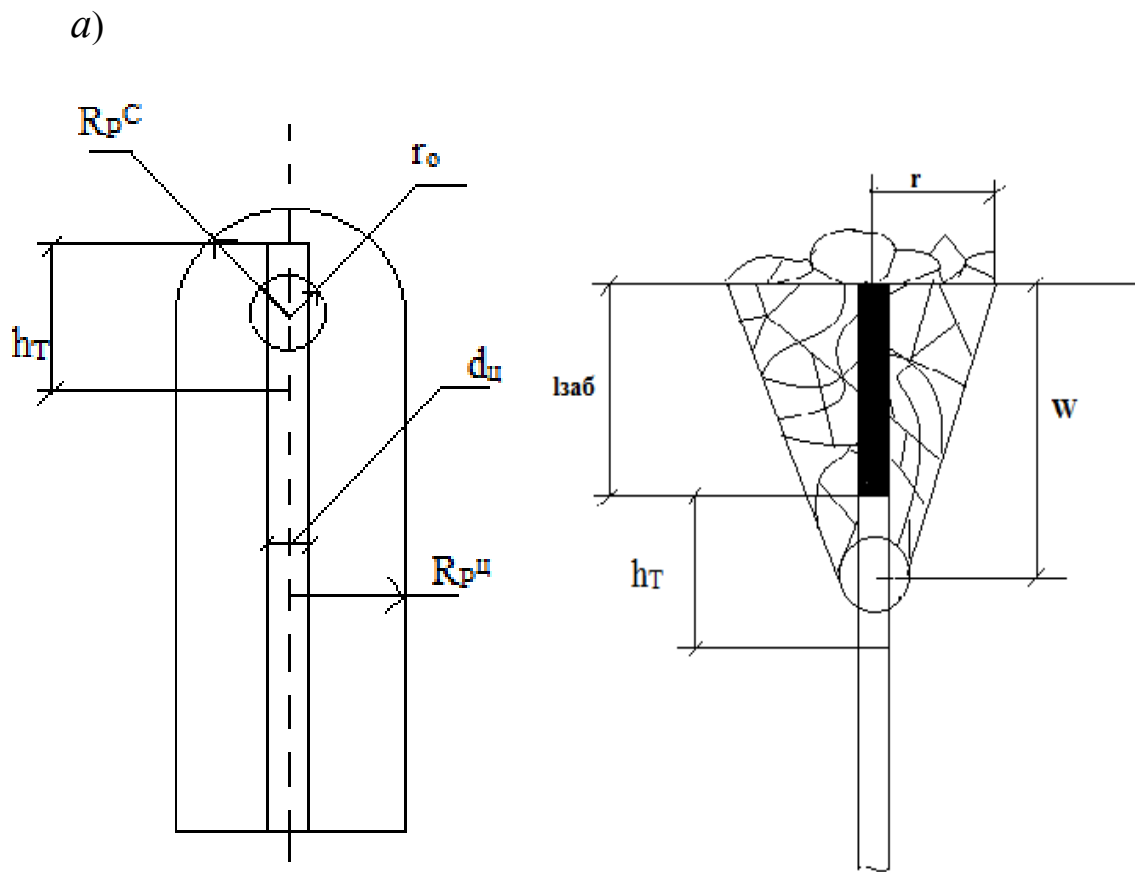


Рис.4.7 Схеми до розрахунку маси (а) та параметрів закладання (б) торцевої частини свердловинного заряду

В формулі (4.6) параметр p – лінійна маса подовженого заряду, кг/м, що залежить від його діаметра d_3 і щільності ВР $\rho_{ВР}$; в формулі (4.5) q_H – питома витрата заряду нормального викидання (при $n = 1$), W – глибина закладання центра зарядів (сферичного або короткого циліндричного).

Оскільки маси циліндричного відрізка (торця) і сферичного аналога однакові, прирівнюємо праві частини в (4.6) і (4.7):

$$p \cdot h_T = 0,33 q_H \cdot W^3. \quad (4.8)$$

З рис.4.7 ,а можна визначити довжину торця h_T :

$$h_T = 2 (W - h_{наб}). \quad (4.9)$$

Підставляючи (4.7) в рівність (4.6), отримуємо кубічне рівняння відносно шуканої величини W :

$$0,33 q_H W^3 - 2W + 2 h_{наб} = 0 \quad (4.10)$$

Маючи значення питомої витрати нормального викидання та довжини набійки, визначаємо дійсний корінь рівняння. Підставлений в залежність (4.9), він дозволяє визначити величину торцевої частини свердловинного заряду h_T , що працює в режимі зосередженого заряду на спущення з показником дії вибуху $n = 0,6$.

Результати комплексу розхунків для різних параметрів зарядів та мережі їх розташування в системі, прийнятих практикою масових вибухів, наведено в таблиці додатку С .

Позначення, прийняті в таблиці: h_T – висота торця заряду, м, a – відстань між зарядами, м, ΔT – відносна довжина торцевих частин заряду, %, $\Delta E(\%)$ – відносні торцеві енергетичні втрати свердловинного заряду через деградацію циліндричного фронту хвилі напружень.

Використовуючи дані з таблиці (додаток С), можемо обґрунтувати вибір раціональних параметрів системи свердловинних зарядів в разі проектування масового вибуху в реальних умовах, в т.ч. для розробки нагірних родовищ. Зрозуміло, що в цих умовах основними параметрами, від яких слід починати проектування, є висота уступу H та діаметр заряду d_z , тому в наших розрахунках ці параметри взято в якості основи.

Розрахунками і практикою доведено, що довжина свердловини в практиці ведення БВР в умовах приповерхневих родовищ кварцитових руд з ослабленими структурними зв'язками може бути визначена за перевіреною емпіричною залежністю:

$$L_{св} = 1,1 H, \text{ м.} \quad (4.11)$$

Відносна довжина обох торцевих частин заряду визначиться з виразу:

$$\Delta T = 2 \frac{h_T}{L_z} \cdot 100\% \quad (4.12)$$

Належить встановити, які параметри заряду (діаметр свердловини, довжина заряду та тип промислової ВР) і як саме впливають на величину енергетичних втрат, обумовлених крайовим ефектом. Основні залежності

між досліджуваними параметрами встановлено шляхом розрахунків, представлених в таблиці додатку С . На рис. 4.10, 4.11 залежності відносної сумарної довжини торцевих частин кожного заряду від визначальних параметрів зображено графічно з відповідною статистичною обробкою. З них слідує наступне:

оскільки значення ΔT в межах однієї висоти уступу і одного діаметра заряду відрізняються між собою лише епізодично та незначно незалежно від типу ВР та вірогідно через точність обчислень, вважаємо, що ці відхилення не позначаються на спостережуваних закономірностях. В цьому разі тип ВР може бути виключений з аналізу шляхом усереднення показників за трьома типами ВР в межах постійних d_3 та висоті уступу H ($d_3, H = \text{Const}$);

обидва параметри – діаметр заряду та його довжина суттєво впливають на прояви крайового ефекту вибуху, при цьому якщо їх розглядати сукупно, то найменша відносна довжина торцевих ділянок заряду (14,12%) відмічається в свердловинах глибиною $L_{\text{св}} = 10\text{м}$ при їх діаметрі $d_3 = 105\text{мм}$ для варіанту використання в якості промислової ВР ANFO (рис.4.4); найбільше значення $\Delta T = 31,5\%$ досягається при висоті уступу 5м, діаметрі заряду 215мм та застосуванні в якості промислової ВР емульсійної вибухової речовини (ЕВР);

Таблиця 4.3

Відносна довжина торцевих ділянок свердловинного заряду

Діаметр заряду, мм	Тип ВР	ΔT , % при висоті уступу H , м		
		5	7	10
105	ЕВР	22,8	19,35	14,87
	Грамонт	24,2	18,75	13,77
	ANFO	24,61	18,0	14,12
	Середнє знач.	23,87	18,7	14,75
	ЕВР	27,57	23,76	18,7

155	Грамоніт	27,1	24,0	17,95
	ANFO	28,35	21,33	15,9
	Середнє знач.	27,27	23,03	17,52
215	ЕВР	31,5	26,67	22,45
	Грамоніт	30,77	27,4	22,6
	ANFO	30,61	24,86	17,9
	Середнє знач.	30,96	26,31	20,84

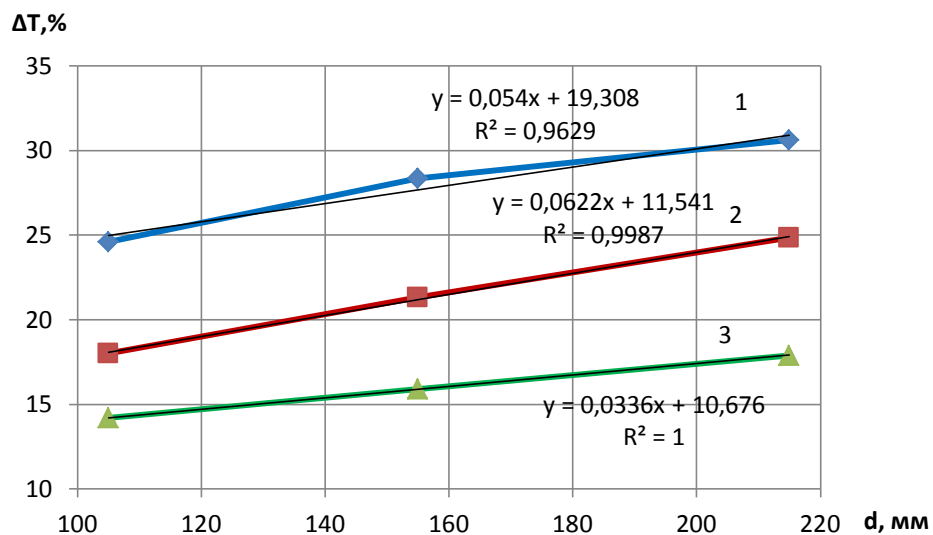


Рис.4.8 Залежність відносної довжини торцевих частин заряду ANFOніту від діаметра свердловини на уступі висотою 5м (1), 7м (2) та 10м(3)

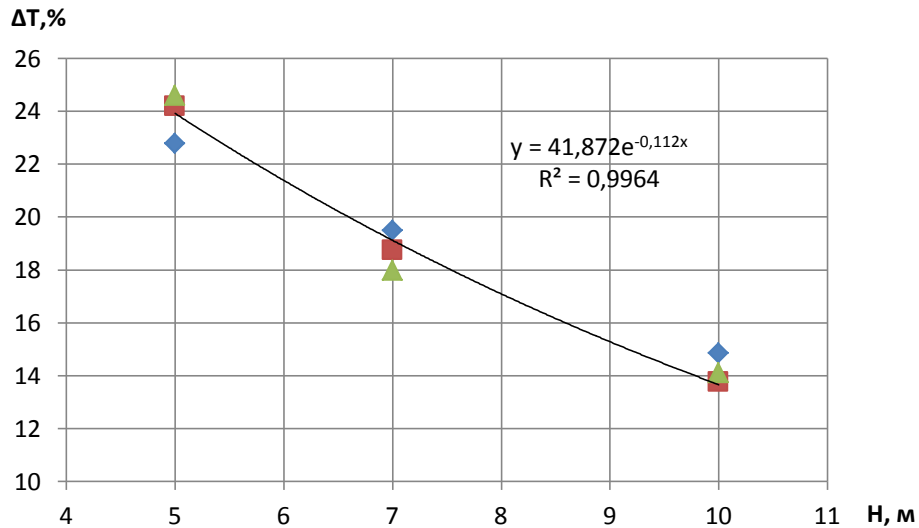


Рис.4.9 Залежність відносної довжини торцевих частин свердловинного заряду діаметром 105мм від висоти уступу та типу ВР: ЕВР (ромб), Грамоніту 79/21(квадрат) та АНФОніту (трикутник)

Використовуючи дані таблиці додатку С, побудовано залежності величини енергетичних втрат на верхній торцевій ділянці свердловинного заряду, що взаємодіє з породним масивом на рівні набійки (рис.4.10).

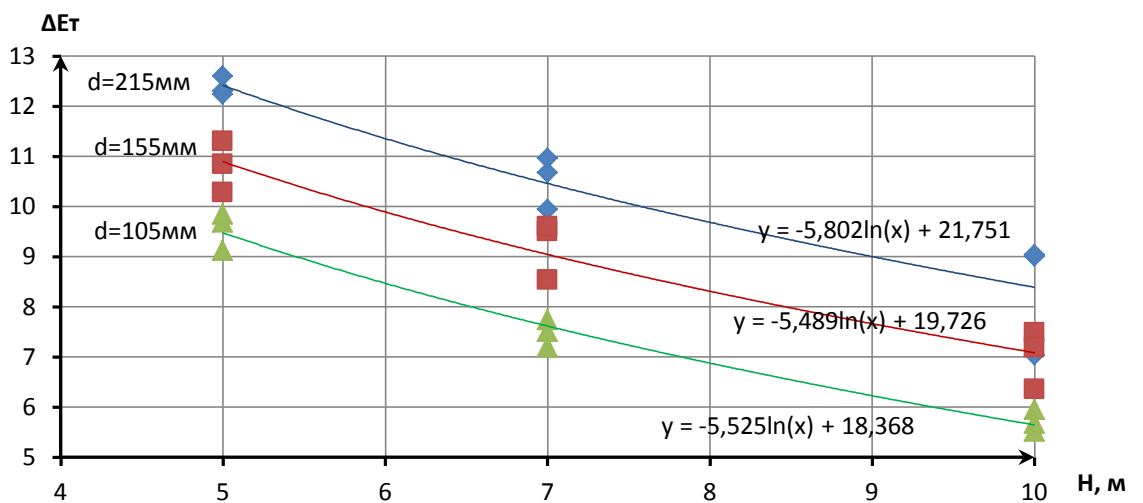


Рис. 4.10 Залежність енергетичних втрат від вихідних параметрів системи в крайовій ділянці свердловинного заряду (див.позначення рис 4.9)

Отримані логарифмічні залежності підтверджують висновок про відсутність суттєвого впливу типу ВР на прояви крайового ефекту вибуху в районі набійки.

Слід зважати на те, що довжина заряду залежить лише від проектно́ї висоти уступу, тобто вільно не обирається. Отже, однозначно незалежно від висоти уступу, або довжини заряду, слід віддати перевагу зарядам діаметром 105мм в сенсі зменшення енергетичних втрат за рахунок торцевих ефектів. Цей висновок слідує також з даних рис.4.9 .

Щодо обрання типу ВР, економічно вигідною безперечно є ANFO, лише слід звернути увагу на присутність в свердловинах вологи. В умовах підвищеної зволоженості зачеплених вивітрюванням породних шарів, що характерно для розробок на гірських схилах, заряди ВР типу ANFO потрібно розміщувати в захисних рукавах, які дещо підвищують вартість основних матеріалів для виконання БВР.

Розглянутий комплекс параметрів БВР не обмежується окремими зарядами. Для встановлення раціональності обраних параметрів мережі свердловинних зарядів масового вибуху слід вивчити, як ці параметри впливають на прояви крайових ефектів на рівні набійки, де через необхідність застосування обережних методів висаджування можливий підвищений вихід негабаритної фракції.

4.3. Вплив параметрів системи суміжних зарядів на формування зони подрібнення у верхній частині уступу

Виходячи з розглянутої концепції про роботу торцевої частини свердловинних зарядів в приповерхневому шарі порід в режимі помірного спущення ($n=0,6$), кероване подрібнення в першу чергу можливе або в межах кожної воронки спущення, або в спільній зоні за умови взаємного накладання цих воронок, де показник дії вибуху n визначається як відношення верхнього радіуса воронки r до глибини закладання заряду W (середини торцевої частини або центру рівновеликого сферичного заряду).

В залежності від проектної відстані між суміжними зарядами ці воронки можуть частково чи повністю перекриватись, або існувати окремо. Від цього залежить, яка частина масиву на рівні набійки буде зруйнована в режимі спущення.

Площа породного блоку між суміжними зарядами, не зачеплена воронками спущення, позначена в табл. 4.4 та на рис. 4.11 символом ΔS як вірогідна зона виходу негабариту. Розрахунки цієї величини виконано на основі раніше наведених в табл. 4.2 вихідних параметрів БВР, а саме, висоти уступу в діапазоні 5...10 м, діаметра заряду в діапазоні 105...215 мм, 3-х типів ВР, які суттєво відрізняються за фізико-механічними та детонаційними характеристиками. В табл. 4.4 приводяться абсолютні значення шуканої площі та її відносні до загальної площі блоку значення в %.

Таблиця 4.4.

Площа елементів міжсвердловинного породного блоку на рівні набійки

Вихідні параметри		Площа $S/\Delta S$ для різних типів ВР					
		ЕВР		Грамоніт 79/21		ANFO	
Н, м	d _{CB} , мм	м ²	%	м ²	%	м ²	%
10	105	12,63 6,37	100 50,4	10,86 5,46	100 50,27	9,32 4,62	100 49,55
	155	23,34 12,0	100 51,35	17,8 9,23	100 51,85	17,46 8,93	100 51,15
	215	37,22 19,4	100 52,12	18,72 10,0	100 53,22	26,4 13,71	100 52,0
7	105	10,88 5,55	100 51,0	9,7 4,93	100 50,8	8,19 4,13	100 50,48
	155	19,03 9,9	100 52,0	17,8 9,35	100 51,85	14,69 7,59	100 51,67
	215	28,2 15,0	100 53,0	25,6 13,46	100 52,54	22,65 11,9	100 52,6
5	105	9,05 4,67	100 51,63	8,03 4,13	100 51,43	7,18 3,58	100 49,73

	155	17,78 9,34	100 2,55	13,83 7,3	100 52,73	11,74 6,16	100 52,5
	215	23,3 12,41	100 53,3	18,72 9,96	100 53,22	17,42 9,45	100 54,2

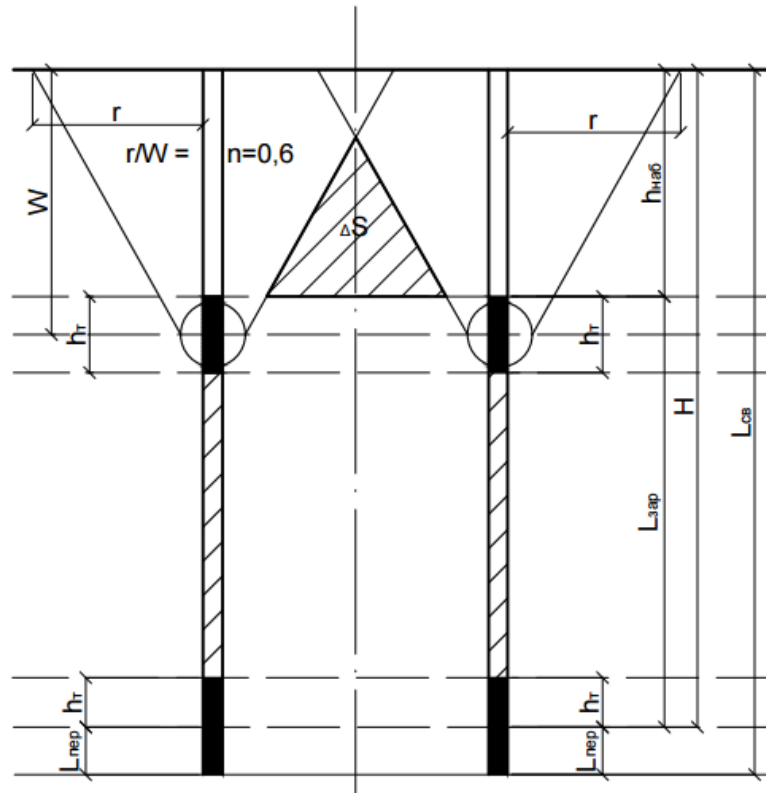


Рис. 4.11 Схема взаємодії суміжних зарядів на рівні набійки

Як видно з аналізу даних табл. 4.4, відносна площа серединної зони ΔS у відсотках практично мало залежить від розглянутих популярних параметрів масового вибуху, в тому числі і від висоти уступу, хоча деяка тенденція її зростання із збільшенням діаметра заряду помічається. Разом з тим в абсолютному вираженні площа цієї зони суттєво скорочується не лише при зменшенні діаметра заряду і висоти уступу, але і в зв'язку з призначенням типу ВР. Цей факт може мати вирішальне значення для вибору промислової ВР свердловинного заряду, а саме - ANFO, застосування якої максимально зменшує (до $3,58\text{ м}^2$) площу виходу негабаритної фракції для діаметра заряду 105мм проти максимального значення $6,37\text{ м}^2$ при застосуванні ЕВР та висоті уступу 10м, чи понад $4,0\text{ м}^2$

при застосуванні ЕВР або грамоніту при тому ж діаметрі заряду. Це спостереження, основане на розрахунку ступеня впливу торцевих ефектів на рівні набійки на сумарний руйнуючий ефект вибуху в системі свердловинних зарядів, є вагомим аргументом для призначення в якості промислової ВР вибухового складу на основі нітрату амонію - ANFO.

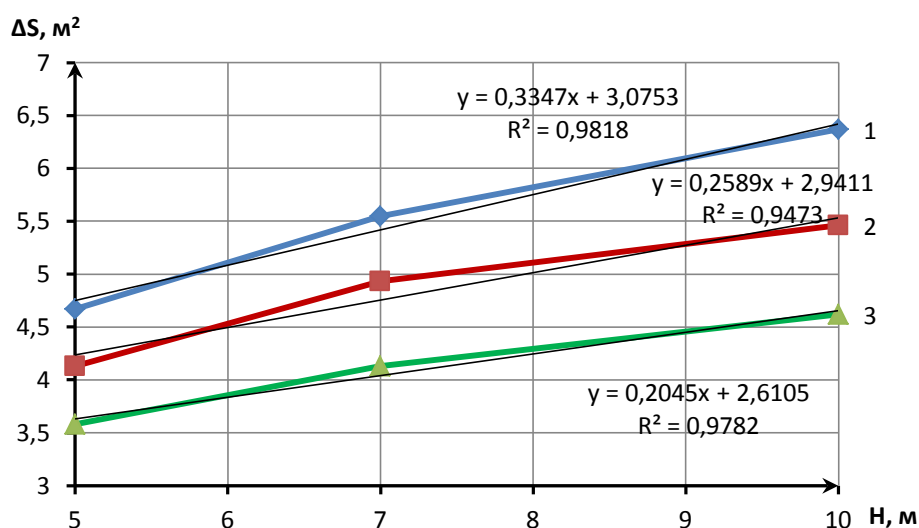


Рис. 4.12 Залежність площі ділянки вірогідного утворення негабаритної фракції від висоти уступу для зарядів діаметром 215мм (1), 155мм (2), 105мм (3)

Звичайно, не можна виключати в механізмі руйнування підповерхневого шару породи ролі первинного чинника – поля напружень від вибуху торцевих частин зарядів. Цей чинник завжди присутній в підповерхневому шарі породи, створюючи попередні умови для руйнування масиву. Його вплив описано в роботі [24], в якій детально розглянуто роль хвильової фази в руйнуванні приповерхневого шару породи на рівні набійки. Автори розглянули структуру і параметри прогнозованої області руйнування вибухом свердловинного заряду діаметром 250мм при глибині набійки 6,0м та дійшли висновку, що цю область руйнування під дією хвильового чинника (хвильової фази) можна поділити на 2 зони – зону подрібнення з радіусом 5 радіусів свердловинного заряду та зону радіальних

тріщин, що поширюється на відстань 3,4м або 27,2 радіуси заряду. Висловлено думку, що на більшому віддаленні від верхнього торця заряду інтенсивності падаючих та відбитих хвиль напружень недостатньо для подрібнення породи на куски [24] . Зрозуміло, що ці типи хвиль задіяні в «передруйнуванні» масиву, тобто в розвитку існуючих та формуванні системи нових мікротріщин під дією прямих стискуючих хвиль та відбитих хвиль розтягнення. В подальшому з певною затримкою в часі в цій області масиву, вступає в дію так звана «квазістатична» фаза вибухового процесу. Вона виглядає як спущення породи в межах воронки викидання в торцевих частинах свердловинних зарядів та як масові переміщення в міжзарядному просторі на рівні набійки після проходження силових фронтів. В залежності від застосованої схеми комутації мережі в умовах масового вибуху ці фронти та відповідні масові зрушення в зоні дії суміжних зарядів можуть діяти або одночасно, або послідовно з мілісекундними сповільненнями.

Висновки

Сумарне силове поле від миттєвого вибуху суміжних свердловинних зарядів формується згідно з закономірностями, характерними для вибуху поодинокого подовженого заряду обмеженої довжини, тобто втрачає енергію через деградацію симетрії розходження хвиль напружень.

Відмінністю сумарного силового поля від вибуху суміжних свердловинних зарядів на рівні їх торців в режимі реальної детонації є вплив місця ініціювання зарядів. При нижньому розміщенні проміжного ініціатора з комутацією вибухової мережі на основі системи типу Нонель енергетичні втрати силового поля на рівні верхніх торців суміжних зарядів зменшуються на 30-40%, ізолінії силового поля зберігають загальну осьову симетрію, покращуючи умови руйнування масиву на рівні верхніх торців суміжних зарядів. Енергетичні втрати на рівні нижніх торців суміжних зарядів компенсуються шляхом надання бойовику конічної форми, що

сприяє орієнтації зустрічних силових потоків вздовж площини підосви уступу.

Комплексними розрахунками відносної величини торцевих ділянок свердловинного заряду з використанням популярних в практиці вихідних параметрів зарядів та їх розташування в системі масового вибуху встановлено, що серед цих параметрів тип ВР практично не впливає на прояви крайового ефекту подовженого заряду, який визначає величину енергетичних втрат на рівні торців, що досягають 12,5% відносно усього заряду діаметром 215мм при висоті уступу 5м та зменшуються до 5,5% для заряду діаметром 105мм і висоті уступу 10м. Встановлено, що однозначно незалежно від довжини заряду для зменшення енергетичних втрат через торцеві ефекти слід віддавати перевагу зарядам діаметром 105мм, а з техніко-економічних міркувань – зарядам ANFOніту у водозахисних оболонках чи рукавах.

Теоретично та розрахунково доведено, що енергії суміжних свердловинних зарядів недостатньо для повного подрібнення верхнього приповерхневого шару порід на рівні набійки в камуфлетному та хвильовому режимі. Аналіз розрахункових даних свідчить, що величина неруйнованої області масиву на рівні набійки між суміжними воронками спущення практично не залежить від висоти уступу, але помітно скорочується в абсолютному вимірі при зменшенні діаметра заряду та використанні промислової ВР типу ANFO.

РОЗДІЛ 5

НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАСОВОГО ВИСАДЖЕННЯ В УМОВАХ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ НА СХИЛАХ

5.1. Практичні аспекти керування крайовими ефектами в системі масового вибуху

Відомі принципи проектування та виконання масових вибухів засновані на традиційних схемах короткосповільненого висадження (КСВ), коли ряди зарядів, або групи підриваються в певній послідовності. Черговість та часовий інтервал підривання груп виходить з умови зіткнення суміжних мас порід в міжсвердловинному просторі. Це означає, що в практиці побудови схем КСВ при визначенні періоду сповільнення пропускаються швидкоплинні чинники, - ударні хвилі і хвилі напружень, які на початкових етапах деформування створюють короткотривале силове поле та ініціюють явища передруйнування масиву.

Однак, якщо врахувати наведені вище результати досліджень, хвильову фазу вибуху не можна ігнорувати на стадії ініціювання окремого свердловинного заряду. Як показано в попередніх розділах, від вибуху складного за формою проміжного ініціатора – бойовика виникає силове поле, інтенсивність і форма якого залежать від його маси і геометрії та одночасно позначаються на характері наступних деформаційних процесів, які відбуваються із значно меншою швидкістю.

Провідною ідеєю роботи є вивчення і розробка методів коригування крайових ефектів, які особливо яскраво проявляються в техніці і технології ведення масових вибухів в умовах розробки родовищ на гірських схилах. Ці умови суттєво обмежують можливості призначення раціональних

параметрів вибухових робіт, які рекомендуються традиційними та сучасними науковими дослідженнями, а також практичним досвідом проектування і ведення масових вибухів на відкритих роботах. Основним ускладненням таких робіт є обмеження у призначенні висоти уступу, яка не досягає 10 м, та яка тягне за собою низку інших обмежень.

В практиці відкритих гірничих робіт, особливо при розробці гоподарськи важливої сировини, БВР мають забезпечити високу продуктивність робіт, яка в свою чергу пов'язана зі зростанням об'ємів кожного масового вибуху. При малій потужності уступу корисної копалини, яка часом може досягати навіть 3м, вимоги до збільшення об'єму окремого масового вибуху можна задовольнити лише збільшенням площі висаджуваного блока, а отже, - збільшенням числа свердловин та загальної потужності вибуху. Це в свою чергу призводить до включення в схему БВР свердловин з вказаним широким рядом довжини свердловинних зарядів без зміни геометрії мережі їх розташування.

Зрозуміло, що в таких умовах якість подрібнення гірської маси можна покращити через зменшення діаметра свердловин та відповідно параметрів мережі їх розташування. Однак тут вступають в дію такі обмеження, як детонаційні характеристики промислової ВР (її чутливість до ініціюючого імпульсу, критичний діаметр детонації), а також економічна доцільність її застосування. Останній чинник також обмежує призначення діаметра свердловин. При наведених висотах уступів з точки зору геодинаміки вибуху їх слід було б замінити системою шпурів, але проти такого рішення постають організаційні та економічні обмеження.

Нарешті, зменшення висоти уступу – це зменшення глибини свердловини та довжини заряду, що призводить до зростання ролі негативних крайових ефектів вибуху. В цих умовах будь-які заходи з ослаблення або запобігання крайових ефектів здатні суттєво покращити техніко-економічні показники гірничого підприємства.

При зростанні кількості зарядів в системі масового вибуху за умов гірських схилів зростає значення безпекового чинника – сейсмостійкості схилу, яку можна забезпечити призначенням нестандартних загальних схем комутації вибухової мережі, об'єднанням свердловинних *зарядів* в групи з призначенням певної послідовності їх висадження із застосуванням такого прийому сейсмотахисти, як контурне підривання.

Отже, розробка або удосконалення техніки масового висадження на гірських схилах має передбачати комплексний підхід до розробки ефективних параметрів та прийомів ведення БВР, в яких домінує увага до крайових ефектів вибуху окремих свердловинних зарядів, а також до прояву цих ефектів в системі. Якщо за традиційних висот уступів, що перевищують 10...14м, крайові ефекти складають не основну проблему щодо якості подрібнення гірської маси і не призводять до перевищення прийнятних показників (наприклад, виходу негабаритної фракції), то в досліджуваних умовах цей показник згідно з практикою ведення БВР складає понад 8...10%. Слід враховувати, що найбільш вірогідним джерелом виходу негабариту є не так бічні похилі шари висаджуваного блоку, як особливо – його поверхневий шар з потужністю, що співмірна з висотою набійки. Набійка із зменшенням висоти уступу до 3-х і менше метрів при незмінному мінімально припустимому діаметрі зарядів 105мм для ВР типу ANFO не завжди може бути меншою 2м. Тоді при висоті уступу 3,0м довжина заряду складе близько 1,1м, з яких згідно з даними додатку С сумарна довжина торцевих частин складе не менше 0,4м. Якщо не застосувати заходи щодо компенсації негативного крайового ефекту на обох торцях заряду, енергетичні втрати вибуху складуть понад 20% енергії заряду, з них в області набійки – понад 10%, що не може не позначитись на якості подрібнення породи.

Виходячи з наведених міркувань, в роботі виконано комплекс досліджень, що мають за кінцеву мету обґрунтування технологічних

параметрів конструювання та розташування свердловинних зарядів в системі масового вибуху, а також рішення методичних питань проектування основних та допоміжних елементів вибухових робіт в умовах обмеженої висоти уступів на гірських схилах. Ці умови призводять до зростання ролі крайових ефектів вибуху свердловинних зарядів, тобто до помітних енергетичних втрат вибуху та погіршення якості руйнування гірської маси в крайових ділянках висаджуваного об'єму блоку. Відповідно потрібен акцентований підхід до певних технологічних елементів, де крайові ефекти набувають значної ваги. Це в основному механічний ефект вибуху на кінцевих ділянках свердловинного заряду, в породному масиві між цими ділянками та між зарядами і прилеглими вільними поверхнями висаджуваного породного блоку.

В залежності від положення в заряді досліджуваного елемента в динаміці розвитку механічного ефекта вибуху може переважати одна із наступних фаз вибуху за аналогією з [24]: випромінювання і поширення силового фронту (хвильова фаза), формування вибухової порожнини (камуфлетна фаза), масові зрушення слідом за хвилею напружень (квазістатична фаза), взаємодія зустрічних або послідовних різношвидкісних масових потоків (фаза зіткнення). Названі фази в динаміці розвитку загального деформаційного процесу присутні на кожній ділянці заряду, але їх вага в кожному технологічному елементі може змінюватись. З найбільш дискусійних і проблемних ділянок свердловинного заряду обрано його торцеві ділянки і саме для них виконано основний масив досліджень. В подальшому розглянуто аналогічні питання в умовах взаємодії зарядів в системі. Відповідно можна представити основні моменти, що відображають етапи впровадження у виробництво виконаних розробок.

З загальних параметрів масового вибуху виділяються наступні.

Промислова ВР. В сучасній практиці вибухових робіт на кар'єрах Азербайджану найбільш популярні ВР – це емульсійні і типу ігданіту. На

наш погляд, обираючи ЕВР для промислового використання, проектанти і технологи залишають поза увагою один важливий чинник, мало досліджений науковцями, але відмічений практикою вибухової справи. Мається на увазі здатність ЕВР ущільнюватись під дією стискуєчих хвиль напружень з наступним відновленням на протязі певного часу. Густина будь-якої ВР є визначальним показником, що впливає на її детонаційну здатність. В умовах масового вибуху з використанням техніки коротких сповільнень кожна наступна група зарядів спочатку піддається механічному впливові силового поля, випроміненого попередньо висадженою групою, та ущільнюється. Теоретично на основі використання рішення з динаміки трикомпонентної моделі [43] з використанням рішень в роботі [42] доведено [86], що газонаповнена емульсійна ВР в системі зарядів діаметром 200мм при відстані між ними 5,0м здатна ущільнитись від вихідного значення в 1200кг/м^3 до рівня 1480кг/м^3 . Згідно з даними рис.5.1, таке перевищення граничного значення щільності реально загрожує частковою або повною втратою цією ЕВР детонаційних властивостей.

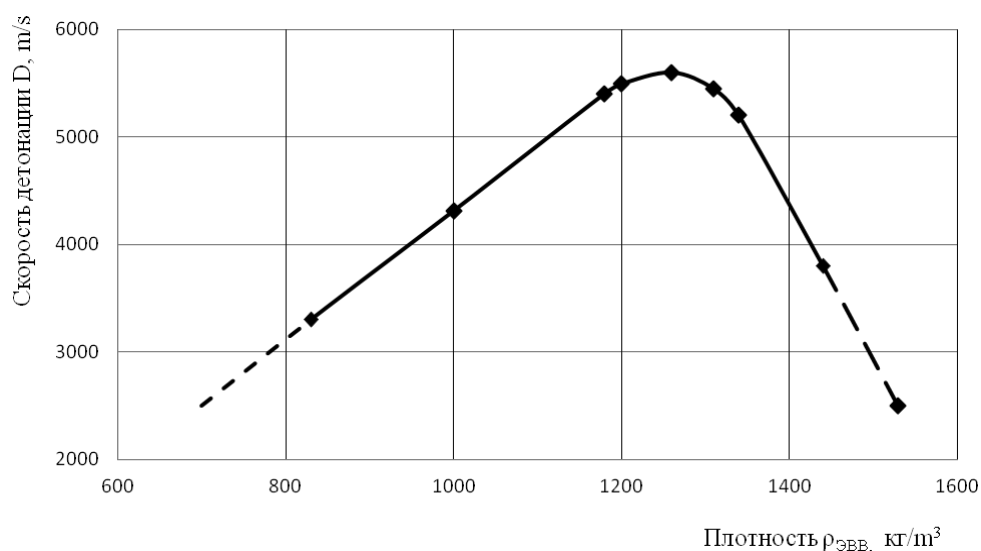


Рис.5.1 Залежність швидкості детонації Пореміту діаметром 80мм від його щільності[61, 67]

Відповідно до практики масових висаджень зарядів ЕВР [44] для відновлення їх вихідного стану потрібно близько 70мс. За цей час газонаповнена ВР під дією розширюваного газового компонента та в'язкості емульсії частково повертається до вихідного стану. На відміну від ЕВР будь-яка інша ВР без газових включень або не ущільнюється до вказаних значень, або набагато швидше відновлюється. Однак намагання створити ЕВР без газогенеруючих або аеруючих домішок через сенсibilізацію спученим перлітовим піском, скляними кульками, мікросферами (в кількості до 4%) помітно збільшує її граничний діаметр [61].

Виходячи з викладеного, для виправлення ситуації можна піти двома шляхами - застосувати миттєве підірвання кількох суміжних груп зарядів, об'єднаних у більшу групу або обрати промислову ВР, мінімально схильну до попереднього ущільнення. В дисертаційній роботі запропоновано і впроваджено у виробництво в промисловому масштабі поєднання обох пропозицій. Можна попередньо відзначити, що якщо врахувати викладені вище вимоги до ефективності і безпеки масових вибухових робіт та додати економічні міркування, найбільш прийнятною слід вважати ВР типу ANFO, особливо заводського приготування в рукавах, як це широко доведено українським досвідом [62] на залізорудних родовищах та кар'єрах з видобутку будівельної сировини в умовах підвищеної вологості.

Форма, склад та спосіб ініціювання бойовика. Технологічні переваги нижнього розміщення проміжного ініціатора в свердловинному заряді на уступі і в науковому, і в промисловому сенсі ґрунтовно доведені, однак пошуки підсилення механічного ефекту на рівні підшви уступу не закінчуються. На відміну від пропозицій щодо маніпулювання формою торця заряду або донної частини свердловини в роботі пропонується технологічно більш просте рішення – замінити традиційний циліндричний або призматичний бойовик зарядом в формі усіченого конуса масою кг, виготовленим в заводських умовах пресуванням тротилового порошку

Бойовик, в якому бічна твірна створює з широкою основою кут в 70° , підвищують на детонаційному хвилеводі співвісно з зарядом широкою основою в напрямку розвитку в заряді детонаційного процесу, забезпечує розвиток грушоподібного силового поля. Воно спрямовує значну частину потоку енергії переважно в радіальному напрямку в кутову область дна свердловини [69]. Створювана при цьому серповидна в поперечному розрізі деформована область на стінці свердловини слугує зародком радіальної тріщини, що розвивається в часі вибуху свердловинного заряду на рівні підосви уступу. В якості елемента техніки підривання в роботі запозичено рішення з праці [15], в якій доведено, що залишений в дні свердловини шар бурового шламу висотою близько діаметра свердловини працює як захисна прокладка в осьовому напрямку. Успішність застосованого методу ведення масових вибухів з використанням технологічних результатів досліджень в роботі підтверджено серією промислових масових вибухів в рудоносних кварцитах, за яких повністю ліквідовано потребу в перебурі (додаток Е).

Параметри мережі свердловинних зарядів. У розглянутому в роботі механізмі формування зони дроблення на рівні верхніх торців суміжних зарядів врахований тільки механізм взаємодії у процесі воронкоутворення в області набійки. Відповідно призначаються параметри БВР, які б одночасно задовольняли вимогам до якості дроблення міжсвердловинного породного масиву і забезпечували аналогічний результат на рівні набійки. При цьому можливі технологічні рішення, які, виходячи з акценту на вибір параметрів БВР, ефективних для основного масиву породи між свердловинами, призведуть до невігідних умов дроблення масиву у верхньому шарі на рівні набійки. Іншими словами, при призначенні технічно і економічно раціональних параметрів мережі розташування свердловин, які враховують всі 4 стадії взаємодії зарядів, необхідно зберегти такий же підхід для шару на рівні набійки. У зв'язку з цим розглянуто прояви крайових ефектів в області верхніх торців свердловинних зарядів як результат дії фізичних

процесів і явищ, закладених на початковій стадії планування масового вибуху.

Наприклад, принципова зміна умов генерування ініціюючого пульсу в свердловинному заряді, напрямки розвитку детонаційного процесу, послідовності підривання зарядів у системі має одночасно збагатити можливості технології руйнування породи в міжсвердловинному просторі і забезпечити необхідну якість масового вибуху на периферії масиву, яка є першочерговим

Перевага нижнього ініціювання свердловинних зарядів із застосуванням конічних бовиков, крім більш повного використання енергії промислового заряду в області перебуру і вздовж колонки заряду, полягає в можливості керування параметрами, а також у переорієнтації силових і деформаційних фронтів у вертикальному напрямку, тобто в напрямку шару породи на рівні набійки.

Розглянуто можливі позитивні і негативні сторони переорієнтації фронтів і послідовності їх взаємодії. У звичайних методиках розрахунку параметрів БВР стосовно до масових вибухів умовно вважається, що свердловинні заряди в системі взаємодіють у напрямку, нормальному до їх осей. Аналогічно і в теоретичних побудовах закладено це допущення, тобто для спрощення приймається, що заряди детонують одночасно по довжині. Такий підхід дозволяє максимально спростити рішення задачі розподілу поля напружень у міжсвердловинному масиві і в першому наближенні оцінити механічний ефект вибуху.

Завдяки специфічній «грушоподібної» формі випромінюваного енергетичного поля вибух зворотного конічного бойовика на стадії ініціювання основного (свердловинного) заряду направляючий вектор початкової ділянки фронту хвилі напружень звертається у бік верхньої вільної поверхні, тобто в бік поверхневих шарів, розташованих на рівні набійки. Ця область не піддається безпосередньому впливу системи

стискаючих радіальних і тангенціальних напружень від вибуху заряду в свердловині. Отже, зміна напрямку розвитку силового поля в бік верхніх шарів масиву має сприяти більш якісному подрібненню цієї частини масиву.

Таким чином, найбільшого ефекту від такої переорієнтації силового поля можна досягти нижнім ініціюванням суміжних свердловинних зарядів, за умови їх практично одночасного ініціювання.

Оскільки відповідні заряди суміжних рядів будуть ініційовані одночасно, фронти полів напружень зустрінуться строго в міжзарядному просторі, а сумарний вектор силового поля у разі такої взаємодії (рис. 4.5) буде направлений по нормалі до вільної поверхні блоку.

Враховуючи, що технічно такі умови забезпечити досить складно через високу швидкість поширення хвиль напружень і її певну зміну під впливом породних порушень, особливо у вивіреному масиві кварцитів, більш реально розраховувати на відомий механізм взаємодії породних мас, що переміщуються назустріч і додатково руйнуються аналогічно умовам короткоуповільненого підривання за врубовою схемою, тобто на механізм взаємодії на рівні більш повільного процесу - зіткнення мас, спрямованого в бік верхньої вільної поверхні. Одночасне нижнє ініціювання подовжених зарядів в сусідніх рядах породжує зустрічні нахилені до вільної поверхні уступу фронти. Фактично в цьому випадку пропонується схема вертикального клинового врубу, орієнтованого замість вільної бічної поверхні в бік покрівлі уступу, яка через її значне простягання є джерелом більшості негабаритної фракції.

Зрозуміло, що наведена нова схема взаємодії груп зарядів суперечить традиційним прийомам конструювання схеми короткоповільненого підривання, оскільки виключає механізм горизонтального послідовного переміщення окремих мас гірського масиву і переорієнтовує рух цих мас від горизонтального зсуву на вертикальний, однак збільшує ризики за чинником сейсміки.

З метою об'єднання цих рухів і враховуючи значну щільність мережі свердловин малого діаметра (102мм при мереж 3м x 3м), в роботі і на практиці випробовано і впроваджено компромісну схему комутації, яка полягає в одночасному паралельному висадженні трьох суміжних рядів свердловинних зарядів в якості однієї групи (рис.5.2), з наступним короткосповільненим вибухом суміжної трирядної групи з періодом сповільнення 100мс і далі.

Реалізація такої схеми дозволяє використати її переваги завдяки поєднанню механізмів переміщення мас у вертикальному напрямку з традиційним зіткненням ділянок масиву в горизонтальному напрямку. Переваги застосування змішаної схеми комутації мережі доведені промисловими випробуваннями методу в умовах, безпечних за сейсмічного фактору. Згідно з даними по Човдарському кар'єру, що розробляє рудоносні кварцити із природно порушеною структурою, при максимальному розмірі негабаритної фракції в 0.8м (визначається за шириною приймального отвору дробарки) вихід негабариту в умовах підривання за традиційними схемами складає 10%. Після впровадження розроблених в дисертації рекомендацій об'єм виходу негабариту скоротився до 5%.

Слід звернути увагу на те, що пропонована схема підривання тапу «вертикальний клиновий вруб» виявляє свою ефективність саме в межах верхнього шару уступу на рівні набійки. Що стосується розробки родовищ на схилах, схема потребує вдосконалення техніки контурного підривання шляхом поєднання в контурному ряду відривний захисної тріщини з зоною підвищеної тріщинуватості, зверненої до висаджуваного блоку [86].

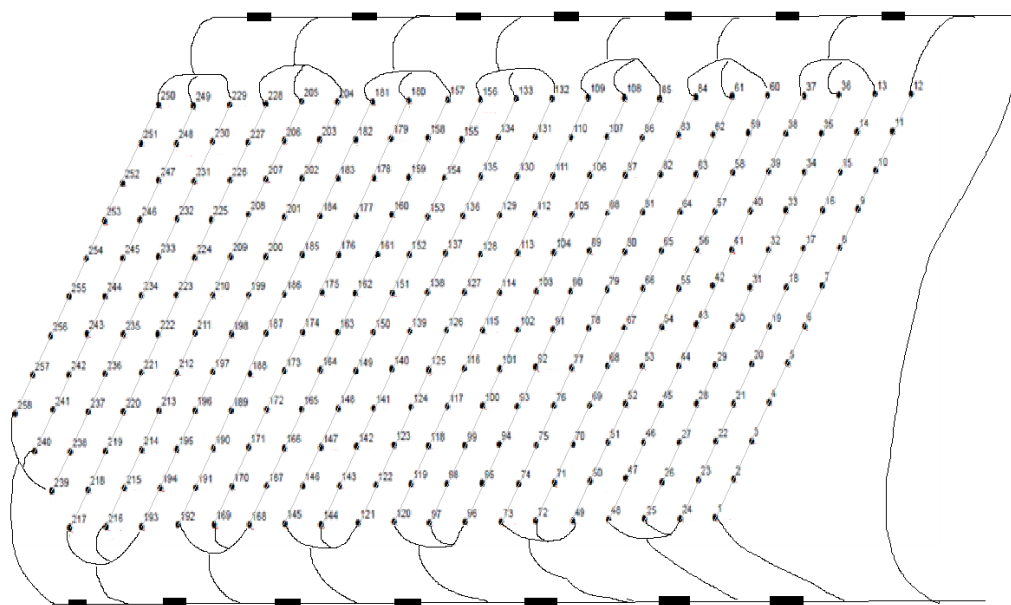
5.2. Техніко-економічні показники масового вибуху в умовах розробки родовища на гірському схилі

В якості прикладу для визначення економічного ефекту від впровадження результатів дисертаційних досліджень прийнято один з

масових вибухів на кар'єрі з розробки золотоносних кварцитів на Човдарському родовищі (Респ. Азербайджан), на якому організація



а)



б)

Рис. 5.2 Загальний вигляд уступу (а) та комбінована схема комутації вибухової мережі (б) в умовах кар'єру з розробки Човдарського родовища рудних кварцитів

«Азінтерпартлайш-х» провадить буровибухові роботи. Для порівняння варіантів прийнято згідно з паспортом БВР показники: загальна кількість свердловин – 258, діаметр свердловин – 102 мм, середня довжина свердловин – 5,5 м, відстані в мережі свердловин – 2,5 м х 3,0м.

Порівняння варіантів виконувалось за двома напрямками.

В табл. 5.1 наведено розрахунки основних витрат з метою визначити економічний ефект, досягнутий за рахунок відмови від влаштування в свердловинах перебуру, традиційно призначеного для попередження появи в підшві уступу «порогів», які призводять до підняття підшви та погіршують показники масового вибуху. Завдяки рекомендованим в дисертації заходам ліквідовано потребу в перебурі, що скоротило обсяг бурових робіт більше ніж на 140м свердловин та дозволило суттєво скоротити витрати коштовного бурового інструменту, промислової вибухової речовини Анфоніт та зменшити праці.

Враховуючи, що загальна вартість 1 м^3 корисної копалини складає 2,6 у.о., при річному обсягові видобування в $650\,000 \text{ м}^3$ річне заощадження складає 71 500 у.о, або в перерахунку 1751750грн..

Табл. 5.2 містить дані розрахунку економічного ефекту від впровадження рекомендованої схеми комутації, завдяки якій досягнуто зменшення вдвічі (з 10 до 5 %) вихід негабаритної фракції. Як слідує з даних таблиці, основним та узагальнюючим джерелом економії є робота бутобою, що оцінюється погодинно.

Таблиця 5.1

Порівняння основних техніко-економічних показників проведення масового вибуху на родовищі за чинником перебуру

№ з/п	Показники	Одвимиh	Традиційний варіант1	Пропонований варіант2	Економія
1	2	3	4	5	6
1.	Кількість свердловин	шт	258	258	
2.	Діаметр свердловин	мм	102	102	
3.	Довжина свердловини	м	5,5	4,95	
4.	Обсяг бурових робіт	м	1425,72	1283,15	
5.	Величина перебуру	м	0,55	0	
6.	Обсяг висаджених порід	м ³	10642,5	10642,5	
5.	Витрати на матеріали, допоміжні матеріали і витрати часу				
	ГСМ і дизельне пальне	у.о. на пог.м.	0,35 (499,0/1425,72)	0,35 (449,1/1283,15)	49,9 \$
	Матеріали, в тому числі:				
	коронка бурова	у.о. на пог.м.	3 дол/1 м 4277,16 дол/1425,72	3 дол 3849,45/1283,15	427,71\$
6.	Витрати вибухових матеріалів 7,8 кг/пог.метр для АНФОНІТу	у.о. на 1 пог.м.	5,5x2/3=3,67 м 946,86 м кг = 7385,51 кг 7385,51 0,94\$ = 6942,38 \$	4,95x2/3=3,3м 851,4 м кг = 6640,92 кг 6640,92 0,94 \$ = 6242,46 \$	699,92 \$
	Всього	У.о.	11718,54	10541,01	1177,53

Таблиця 5.2.

Порівняння основних техніко-економічних показників за виходом негабаритної фракції

№ з/ п	Показники	Одини ця вимір юванн я	Варіант 1 10%	Варіант 2 5%	Економія
1	2	3	4	5	6
1.	Загальна кількість свердловин	шт	258	258	
2.	Діаметр свердловин	мм	102	102	
3.	Довжина свердловини	м	5,5		
4.	Загальний обсяг бурових робіт	м	1425,72		
5.	Довжина перебуру	м	0,55	0	
6.	Промисловий вихід спущеної породи	м ³	10642,5	10642,5	
5.	Процентний відсоток негабариту		10	5	
	Об'єм негабаритної маси	м ³	1064,2	532,1	
6.	Вартість роботи бутобою	год	30\$	30\$	
	Продуктивність роботи бутобою	м3/год	80	80	
7	Вартість робіт з подрібнення негабариту	\$	399\$	199,5\$	199,5\$
6.	Річний обсяг родовища 650 000 м3	м ³	24 375 \$	12187,5	12187,5

Висновки

Основні пропозиції щодо техніки і технології виконання буро вибухових робіт в умовах розробки родовищ на гірських схилах стосуються керування проявами торцевого ефекту вибуху подовженого заряду

обмеженої довжини з метою підсилення та управління формою енергетичного поля вдонній частині свердловинного заряду з метою скорочення або ліквідації перебуру, а також з метою організації взаємодії суміжних силових полів в області масиву поза межами між свердловинного цілика для запобігання підвищеного виходу негабаритної фракції у верхньому шарі масиву на рівні набійки. Впровадження рекомендацій роботи на Човдарському кар'єрі з видобутку золотоносної руди в річному вимірі забезпечило економічний ефект в розмірі 83600 у.о.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей прояву крайових ефектів вибуху систем свердловинних зарядів обмеженої довжини запропоновано нове рішення актуальної науково-прикладної задачі удосконалення технологічних параметрів масового висадження, що забезпечують підвищення продуктивності і техніко – економічних показників гірничих підприємств в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин на гірських схилах.

Основні наукові і практичні результати виконаних досліджень полягають у наступному:

1. Аналіз результатів відомих наукових досліджень та досвіду керування силовими та деформаційними полями в умовах масового висадження систем свердловинних зарядів свідчить про необхідність та можливість керування специфічними торцевими явищами на контурах силового поля при вибуху свердловинних зарядів обмеженої довжини для вирішення технологічних завдань у зоні перебуру та у верхньому шарі уступу на рівні набійки.

2. Аналітично та експериментально встановлено, що оскільки з наближенням до кінцевих ділянок подовженого заряду рівень максимальних

напружень в силовому полі різко зменшується у порівнянні з його центральною частиною з відповідною втратою полем частини енергії, для його посилення в крайових зонах рекомендуються прийоми, що полягають у збільшенні маси торцевої частини заряду в 1.7 рази, застосуванні у донній частині свердловини заряду більш потужної ВР, вдосконаленні архітектури свердловинного заряду застосуванням донного бойовика складної форми для переорієнтації силового поля у бік кутової зони дна свердловини.

3. Математичним моделюванням вибуху заряду у формі усіченого конуса встановлено, що незалежно від місця ініціювання розподіл енергії його вибуху супроводжується утворенням силового поля грушоподібної форми з домінуючим його розвитком по нормалі до похилої бічної поверхні конуса.

4. Вибух конічного бойовика в свердловинному заряді за умови нижнього ініціювання свердловинного заряду з орієнтацією бічної поверхні конуса на кутову зону дна свердловини формує радіально-кільцеву область деформацій глибиною до 90см;

5. Експериментально встановлено, що управління механічним ефектом вибуху конічного заряду можливе шляхом зміни кута нахилу бічної поверхні конуса до основи; раціональний діапазон величини кута при більшій основі конічного бойовика для орієнтації енергетичного потоку по нормалі до бічної поверхні ПБ і вздовж площини підосви уступу становить $60...70^{\circ}$.

6. Рекомендована орієнтація бойовика широкою основою в напрямку розвитку детонації заряду забезпечує одночасне прикладання ініціюючого імпульсу в площині поперечного перетину свердловинного заряду, що створює раціональні умови формування зони розгону детонації в свердловину заряді в режимі перестиснення.

7. Інженерними розрахунками отримано закономірності, що пов'язують масу торцевої частини свердловинного заряду з технологічними

показниками – діаметром свердловинних зарядів, висотою уступу та відповідно довжиною заряду, типом ВР в зарядах, параметрів їх розташування на уступі та встановлено раціональні значення базових параметрів, які дозволяють зменшити енергетичні втрати в крайових ділянках силового поля на 30-40% порівняно з традиційними технологіями.

8. Встановлено, що одночасне нижнє ініціювання об'єднаних в групу кількох суміжних рядів зарядів породжує зустрічні похилі хвильові і деформаційні фронти, звернені результуючим вектором у бік верхньої вільної поверхні і взаємодіючі в режимі вертикального клинового врубу; комбінована схема масового висадження, успішно апробована в промисловому масштабі, рекомендується для умов відсутності обмежень за сейсмобезпекою або за умови застосування методу контурного підривання.

9. Рекомендації з управління торцевим ефектом вибуху подовженого заряду в поєднанні із застосуванням комбінованої схеми короткосповільненого висадження груп зарядів за одночасного нижнього підривання суміжних зарядів в групах дозволяють вирішити проблему ефективного і безпечного розпушування приповерхневого шару породи на рівні набійки та його руйнування в режимі зустрічного зіткнення за принципом роботи вертикального клинового врубу зі зниженням на 5% виходу негабаритної фракції.

10. Практичне застосування рекомендацій роботи, що провадилось на Човдарському кар'єрі (Азербайджан), дозволило скоротити витрати на бурові роботи за рахунок ліквідації перебуру і витрат ВР в перебурі, а також домогтися зниження вдвічі виходу негабариту, що забезпечує тільки на одному підприємстві в умовах розробки нагірного родовища сульфідних і окислених кварцитів річний економічний ефект в розмірі понад 2 млн грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород/В.В.Адушкин / Физические процессы взрывного разрушения горных пород.М.:1999.-С.18-29.
2. Азаркович А.Е. Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ в массивах горных пород / А.Е.Азаркович, М.И.Шуйфер/ Физикотехнические проблемы разработки полезных ископаемых, - 1997. - №2. - с. 47-51.
3. Александрова Н.И. Влияние забойки на разрушение горных пород взрывом цилиндрического заряда /Н.И. Александрова, Е.Н.Шер/. – ФТПРПИ, 1999. – № 5. – С. 42–52.
4. Александров Н.И. Влияние утечек газов из полости взрыва сферического заряда на разрушение горных пород / Н.И. Александрова, Е.Н. Шер/ – ФТПРПИ, 2000. – № 5. – С. 43–53.
5. Баум Ф. А. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович и др/ – М.: Наука, 1975. – 704 с.
6. Безименный Ю.Г., Исследование влияния структуры композита на основе медного порошка с вольфрамовыми вкраплениями на скорость распространения упругой волны/Ю.Г.Безименный,Т.О.Епифанцева, Є.О.Козирецкий/ Сборник научных трудов «Вестник НТУ ХПИ»: Электроэнергетика и преобразовательная техника. – 2010. - № 12. – С. 148 – 155.
7. Бизов В.Ф. Вибухові роботи/В.Ф.Бизов, П.Й.Федоренко/Кривий Ріг: Мінерал,2001.-т.Х.-230с.
8. Викторов С.Д. Взрывное разрушение массивов горных пород – основа прогресса в горном деле /С.Д.Викторов/ Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал) 2015.№ S1. – С. 63 – 75.

9. Войтенко Ю.І. Ефективність сильних методів стимуляції видобутку нафти та газу та перспективи їх використання на нетрадиційних водоймах. // Нафтогазова промисловість України / Ю.І. Войтенко /. - 2013. - №5. - С. 42-45.

10. Воробйов (22 45) В.Д. Визначення параметрів активної набійки у свердловині / В.Д.Воробйов, В.Г.Кравець, О.О.Фролов / Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Зб.наук.праць.- Київ: НТУУ «КПІ» : ЗАТ «Техновибух», 1999.- Вип.1.- С.67 – 71.

11. Воробьева Л.Д. Исследование влияния кумулятивного эффекта на давление в воздушном пространстве при взрыве рассредоточенного заряда / Л.Д.Воробьева / Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Наук.зб. - Киев: НТУУ «КПІ», 2005. - № 12. - с. 53-58.

12. Вплив техногенних динамічних процесів на стан природних і інженерних об'єктів/ О.О.Вовк(мол.), В.Г.Кравець, В.М.Ісаєнко, О.О.Вовк, Н.С.Ремез///- К.: Вид-во нац. пед. ун-т ім.М.П.Драгоманова, 2014.- 404с.

13. Ган А.Л. Формування керованого площинного розриву в гірському масиві/А.Л.Ган/ Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, НТУУ «КПІ» , К.: 2011.- 23с.

14. Ган А.Л. Розробка ефективних параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування гірського масиву на рівні набійки /А.Л.Ган, **А.М.Шукюров**, С.А.Турбінський/ Вісник ЖДТУ, №1(83)-2019.-С.242-248

15. Гапоненко І.Л. Підвищення ефективності відбійки гірських порід зарядами з повітряною порожниною в донній частині свердловин на залізрудних кар'єрах. Автореферат дисертації канд.техн.наук /І.Л.Гапоненко/ Кривий Ріг: Криворізький нац.. університет, 2016.- 20с.

16. Гапоненко Л.А.Свердловинний заряд з повітряними проміжками/ /Л.А.Гапоненко// патент UA 119296, опубл. 25/09/2020. – Бюл.№18.

17. Демещук В.Л. Керування детонаційним процесом у подовжених зарядах при руйнуванні породних масивів. Дисертація на пошукування наук. ступеня канд. техн. наук/В.Л.Демещук/.-К.:2007.-131с.

18. Ефремов Э.И. Исследование движения забойки в шпурах / Э.И. Ефремов, К.С. Ищенко, В.А. Никифорова / Уголь Украины, 2000. – № 6. – С. 20–22.

19. Ефремов Э.И. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду при использовании простейших ВВ и специальной забойки./Э.И.Ефремов, А.Я.Бережецкий, А.В.Пономарев, В.В.Баранник, В.П.Куприн / Екологія і природокористування. Дніпропетровськ: 2003, вип. 5.- С.. 137-140.

20. Ефремов Э.И. Способ повышения эффективности взрыва и локализации пылегазовых выбросов /Э.И.Ефремов, В.П. Мартыненко, А.Я.Бережецкий/ Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчуг, 2000. – Вып. 2. – С. 3–5.

21. Игбаев Т.М. Управление действием взрыва скважинного заряда встречными кумулятивными потоками/Т.М.Игбаев/ Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве Всес.10 юбил. научно-техн. совещ. Губкин, 27 – 29 сент., 1988. Тезисы докл. – М.: МГИ, 1988. – С. 114.

22. Исследование детонационных характеристик эмульсионных промышленных взрывчатых веществ типа «вода в масле» / Р.С.Сахипов, В.А.Соснин, А.И.Филинов, Н.Б.Дорин/Детонация. Материалы IX Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву – Черногловка: ИФХ АН СССР,1989.- С.9-11.

23. Казаков Н.Н. О поршневом действии взрыва/Н.Н.Казаков/ Взрывное дело. – 2001. – №93/50. – С.34 – 41. (2)

24. Казаков Н.Н. Разрушение породы камуфлетной и волновой фазами взрыва в верхнем слое карьерного уступа/Н.Н.Казаков,

А.В.Шляпин/Горный информационно-аналитический бюллетень.-2015.- С.103-123. (4)

25. Казаков Н.Н. Уравнение формы волны в породе при взрыве/Н.Н.Казаков, С.В.Копылов/Горный информационно-аналитический бюллетень. МГТУ, 2003, №10.-С.39-40.

26. Казаков Н.Н.Параметры процесса камуфлетного действия взрыва скважинного заряда конечной длины/Н.Н.Казаков/Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №1.-М.: 2013.-С.109-119..

27. Калякин С.А. О механизме взаимодействия продуктов детонации ВВ с гидрозабойкой / С.А. Калякин, Н.Р. Шевцов, К.Н. Лабинский / Сб. науч. тр. ДонНТУ «Проблемы горного давления». – Донецк: ДонНту, 2003. – С. 222–236.

28. Керування крайовим ефектом вибуху./ Evtushenko, I.Копка, О.Lunytsh, A.Shukurov, V.Kravets. / NTUU «Ihor Sikorsky Kyiv Politechnical Institute» II International scien.-tech Conference «Problems of Geoengineering and Underground Urbanistic» 16-17 May 2019,el. res.

29. Колпаков В.И. Математическое моделирование действия взрывных устройств/В.И.Колпаков/ Наука и образование. Электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Е. 2012. (№2).

30. Комащенко В.И. Дробление горных пород зарядами с неравномерным взрывными нагрузками /В.И.Комащенко, А.Л.Гапоненко, В.Г.Каналин/ Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве: Всес. 10 юбил. научно-техн. совещ. Губкин, 27 – 29 сент., 1988. Тезисы докл. – М.: МГИ, 1988. – С. 119.

31. Копка І.О.Розробка конструктивних елементів подовженого заряду для управління механічним ефектом вибуху/І.О.Копка/Магістерська дисертація.К.: КПІ, 2016.- 105с.

32. Кочанов А.Н. Некоторые современные аспекты проблемы взрывного разрушения горных пород/А.Н.Кочанов/ Физические проблемы разрушения горных пород. –М.: ИПКОН, 2004. – С. 214–216.

33. Кравец В. Г. Принципы формирования диаграммы направленности детонационного фронта в промышленном заряде / В. Г. Кравец, А. Л. Ган / XIV Miedzynarodowe Sympozjum «Geotechnika – Geotechnics 2010», Gliwice – Ustron 19 – 22. 10. 2010.- С. 93 – 113.

34. Кравец В.Г. Вплив геометричних і енергетичних параметрів ініціатора на механізм розвитку детонації в подовженому заряді/ В.Г.Кравец, В.Л.Демещук / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: 36. наук. праць. - К.: НТУУ “КПІ”: ЗАТ “Техновибух”. - 2002. - Вип. 7. - С. 64-71.

35. Кравец В.Г. Підривні роботи на кар'єрах/ В.Г.Кравец, В.Д.Воробйов , А.О.Кузьменко/. - К., НДО Віпол, 1994. - 375 с.

36. Кравец В.Г. Підвищення безпеки та ефективності підривних робіт з використанням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів / В.Г. Кравец, К.Н. Ткачук, А.Л. Ган / Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2009. – Вип. 18. – С. 52–56.

37. Кравец В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху/В.Г.Кравец, В.В.Коробійчук, В.В.Бойко/Житомир: ЖДТУ.2015.- 408с.

38. Кравец В.Г.Руйнування гірських порід вибухом/ В.Г.Кравец, В.В.Коробійчук, О.А.Зубченко/ Житомир:ЖДТУ, 2012.-328с.

39. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми/Кравец В.Г., **Шукюров А.**, Гонтарь П.В., Ган А.Л., Коробійчук В.В./ Вісник ЖДТУ, №2(82)-2018.-С.247-252

40. Лебедев А.В. Экологически чистая пламегасящая забойка шпуров при ведении взрывных работ в шахтах, опасных по газу и (или) пыли/

А.В.Лебедев, В.И.Чикунов, О.В.Чикунов/ Безопасность угольных предприятий: Сб.науч.тр. – Кемерово: ВостНИИ, 2004. – С.241 – 244.

41. Лучко А.І. Розробка рівнянь стану газоподібних продуктів вибуху еталонних і нових промислових сумішевих вибухових речовин/ А.І.Лучко/ Вісник ЖДТУ (Технічні науки).-2008.-№3(46).-Том 1.-С.156-161.

42. Лучко І.А. Математичне моделювання дії вибуху в ґрунтах і гірських породах/ І.А.Лучко, Н.С.Ремез, А.І.Лучко /К: НТУУ «КПІ», 2011.- 264с.

43. Ляхов Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах/ Г.М.Ляхов/ – М.: Наука, 1982. – 286 с.

44. Манаков В.Ф. Применение эмульсионного взрывчатого вещества «украинит» в карьерах Кривбасса/ В.Ф. Манаков, А.В.Ивахненко, О.В.Колтунов/- Украинский союз инженеров-взрывников. Информационный бюллетень, 2009, №1. – С. 8-12.

45. Марковский Н.П. А.С.П023, Украина, МКИ5 С06 В 31/38 Состав взрывчатого вещества КС-І/ Н.П.Марковский, В.И.Чикунов В.И/ Патент.- № 93006І78 ; Заявл. 8.06.93, Опубл. 25.12.96, Бюл. №4. –с. 3.1.274.

46. Математическая модель конструкций удлиненных кумулятивных зарядов для разрушения горных пород/ В.В.Сычев, В.Н.Ковалевський, А.Н.Муракин, М.А.Нефедов / Повышение технического уровня горного оборудования для открытых и подземных работ. – Л.: ЛГУ, 1988. – С.90 – 94.

47. Методика оценки механического эффекта при импульсных нагрузках./В.М.Комир,В.В.Блинков,С.М.Мыслицкий, И.Э.Пеева,В.А. Сокуренок/Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ.-Кременчук: КДПУ, 2006. Вип.1/2006(36).-С. 81-83.

48. Механический эффект взрыва в грунтах / И.А.Лучко, В.А.Плакий, Н.С. Ремез и др/ – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

49. Михалюк А.В. Импульсный разрыв пород/А.В.Михалюк, Ю.И.Войтенко/ – К.: Наук. Думка – 1991. – 204 с.
50. Михалюк А.В. Торпедирование и импульсный гидроразрыв пластов/А.В.Михалюк /. К: Наукова Думка, 1986.-208с.
51. Михалюк А.В.Дилатансия и ее влияние на свойства горных пород при допредельных динамических нагрузках/А.В.Михалюк/. – К.: Випол - 2001. - 102 с..
52. Моделирование действия газокумулятивных зарядов на преграду/ М.Х. Абузьяров, А.В.Кочетков, С.В. Крылов, Е.В. Цветкова / Проблемы прочности и пластичности. – 2005. – Вып. 67. – С. 168 – 177.
53. Моделирование динамического разрушения донной части скважины с учётом концентратора напряжений /В.В.Воробьев, М.В.Помазан, С.В.Шлык, Л.Д.Воробьева/ Восточно-европейский технологический журнал. - 2017, -3/1 (87) .- с. 53-62.
54. Нагорний В.П. Технології інтенсифікації видобування вуглеводнів /В.П.Нагорний, І.І.Денисюк/ Інститут геофізики – К.:2013. - 268 с..
55. Новиков В.Д. Підводні й прибережні вибухи/ В.Д.Новиков , П.З..Луговий/.- К.:Наукова думка,1982.-136с
56. Одинцов В.А. Моделирование процесса взрыва осколочно-фугасного снаряда с помощью двумерного кода / В.А.Одинцов, Ю.М.Сидоренко, В.С.Туберозов/ Исследования, конструирование, испытания. - 2000, №1-2. - С. 49-55.
57. Орленко Л.П. Физика взрыва / Л.П. Орленко/ – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с.
58. Пеев А.М. Управление газодинамическими процессами продуктов детонации в донной части скважины/А.М.Пеев / Проблемы создания новых машин и технологий. Сборник научных трудов Кременчугского государственного политехнического института. Выпуск 2/1999 (7). – Кременчуг: КГПИ, 1999. – С. 438 – 440.

59. Поплавский В.А. Скорость детонации в переходной зоне заряда взрывчатого вещества/ В.А.Поплавский, В.В.Гржибовский/ Физика горения и взрыва. -1997. – Т.33.-№5.-С.118-121.

60. Поплавський В.А. Породний негабарит і його вибухове руйнування/В.А.Поплавський/ К.: ННДІБОП,2007.-171с.

61. Поплавський В. А.Фізико-технічні аспекти безпеки вибухових робіт на відкритих гірничих розробках / В.А.Поплавський/.-К.: ННДІОП. 2006.-116с.

62. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах/В.С.Прокопенко/ К.: НТУУ «КПИ», 2010.-208с.

63. Разрушение горных пород при взрыве торцевой части скважинного заряда/А.В. Дугарцыренов, С.И.Ким.,А.Н.Петров, В.С.Марков/ Горный информационно-аналитический бюллетень. Изд-во «Горная книга» №21.: 2012.-С.377-383

64. Ракишев Б.Р. Технологические проблемы разрушения горных пород скважинным зарядами/Б.Р.Ракишев/ Физические проблемы разрушения горных пород. –М.: ИПКОН, 2004. – С. 28–35

65. Рахманов Р.А.Конструкции скважинного заряда с изменяющимися диаметрами в верхней части уступа/ Р.А.Рахманов/Горный информационно-аналитический бюллетень.-2013.-С.205-207.

66. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород/ В.В.Ржевский, Г.Я.Новик/ — М.: Недра, 1984. — 359 с.

67. Сидоренко Ю.М. Методика двумерного компьютерного моделирования процессов функционирования взрывоопасных осколочных боеприпасов/ Ю.М. Сидоренко/ Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2005, (№1): 18-21.

68. Соснин В.А. Исследование процесса детонации в эмульсионных промышленных взрывчатых веществах / В.А. Соснин, Е.В. Колганов / Химическая физика. – 2003. – Т. 22. – № 8. – С. 100–107.

69. Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів./В.В.Бойко, В.Г.Кравець, А.М.Шукюров, Т.В.Хлевнюк, А.Л.Ган/Декл. пат. № 135668 публ. 10.07.2019р. Бюл. №13,

70. Способы управления действием взрыва с применением профилированных кумулятивных зарядов/В.Н.Уваров, В.Е.Новиков, А.А.Кудряшов, С.А. Корочкин С.А. / Физические проблемы разрушения горных пород. Сб. тр. 3 Международной научной конференции. Абаза (Хакасия), 9-14 сент., 2002 . – С. 169-173.

71. Ташкинов А.С. Роль и эффективность забойки при взрыве скважинного заряда/ А.С.Ташкинов, А.В.Бирюков/ Откр. разраб. угол. месторожд. – Кемерово: 1987.– С. 10 – 17.

72. Уваров В.Н. Способы управления действием взрыва с применением профилированных кумулятивных зарядов/ / В.Н.Уваров, В.Е. Новиков, А.А.Кудряшов, С.А.Корочкин/ Физические проблемы разрушения горных пород. Сб.трудов 3-й международной научной конференции. Абаза (Хакасия), 9-14 сент., 2002 . – С. 169–173.

73. Управління механічним ефектом вибуху зарядів контактної дії/А.Л.Марчук, А.М. Шукюров, В.А. Поплавський / Перспективи розвитку будівельних технологій: тези доповідей 11-ї міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів (Дніпро, 26-27 квітня 2017 р.) / Національний гірничий університет – Д., 2017. – С. 39-42.

74. Федоренко П.И. Взрывные работы на глубоких карьерах/П.И. Федоренко, В.И.Борисов,К.А.Гапоненко/. Кр. рог: Минерал, 1996. – 154 с.

75. Физика взрыва /Ф.А. Баум ,Л.П. Орленко, К.Ч.Станюкович, В.П.Челышев, Б.И.Шехтер //М.: Изд. Наука. 1975.- 704с.

76. Фізичні та технологічні чинники формування детонаційної здатності свердловинних зарядів емульсійних вибухових речовин /В.А. Поплавський В.Г. Кравець, А.М. Шукюров, В.В. Павленко/ Вісник ЖДТУ. 2017. № 1 (79).-С.197-201

77. Фролов А. А. Оптимизация параметров системы скважинных зарядов для разрушения анизотропных массивов/ А.А.Фролов// Дис.на соиск. уч .ст. канд. техн. наук: 05.15.11 / А.А. Фролов/. – Киев: НИИОТ, 1998. –146 с.

78. Фролов О. О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підосви уступу /О.О. Фролов / Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2001. – Вип. 6. – С. 63-65.

79. Шапурин В.А.. Инициирование зарядов ВВ кумулятивными промежуточными детонаторами /В.А.Шапурин,И.Ф.Осадчий/ Известия вузов. Горный журнал. - № 8. – 1984. – С. 72 – 75.

80. Шукюров А.М. Теоретичні дослідження силового поля при вибуху нециліндричних зарядів /А.М.Шукюров,В.Г.Кравець,Р.В.Закусило/ Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» Шосткинський інститут Сумського Державного університету Шостка:14-16 листопада 2018р. Шостка-Суми: СДУ. 2018.-С. 14-16.

81. Энергоемкость разрушения гранитов зарядами ВВ различной формы/Э.И.Ефремов, С.В.Коновал, К.С.Ищенко, И.Л.Кратковский, В.Н.Коновал/ Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2015.- №3.- С.80-84.

82. Яковенко В.Г. Применение забойки переменной плотности/ В.Г.Яковенко, Е.В.Бекетаев, А.И. Берг/ Цветметинформация. - 1990. - с. 37-38.

83. Benson D.J. An Eulerian shell formulation for fluid-structure interaction./ D.J.Benson; L.Stainier/ Comput. Methods Appl. Mech. Eng-g. 2000. (№187).- P.571-590.

84. Edge effects of limited length downhole charge explosion/ V. Kravets, R. Zakusylo,A.Shukurov, A/Han, S.Turbinski / Conference proceedings of 31 th International Conference BLASTING TECHNIQUES 2019, Slovak Society for Blasting and Drilling Works, Banská Bystrica Slovakia: 2019.- P.207-216.

85. Energetyczna efektywnosc wybuchu wydłużonych ładunków materiałowych z kierowaniem frontem fali detonacyjnej/ A.Wowk, W. Worobiow, W.Demieszczuk, W.Rogoznikowa, I.Parchanski / Miedzynarodowa Konferencja II Szkoła Geomechaniki. – Gliwice (Polska). – 1995. – C.395-406.

86. Explosive wave propagation in the presence of antiseismic protective curtain/Viktor Kravets, Natalia Remez,Andrii Kovtun, **Azer Shukiurov**/ Ukrainian School of Mining Engineering XII International Scientific and Practical Conference, E3S Web of Conferences, Berdiansk: Ukraine, 4 – 8 September 2018 / Vol/60, 2018.-8p.

87. He Man-chao. Anquan yu huanjing/ He Man-chao, Cao Wu-fu, Wang Shuli/. J. Safety and Environ. - №1. 2004. – P. 8 – 11.

88. Investigation of Metal Oxides as Catalysts for the Thermal Decomposition of Potassium Chlorate (VII) /A.T.Wojewódka, R.Zakusylo, V.Kravets,; A.Romanchenko, T.Jarosz/ Cent. Eur. J. Energ. Mat. **2018**, 15(2).- P. 327-338.

89. Katanov I. The Change of the Spatial Parameters of the Destruction of the Rock mass by Borehole Charge with Low-Density Tamping/ I.Katanov / III International Innovative Mining Symposium . E3S Web of Conferences – 2018, 41. – P.1–4.

90. Kochanov A. N. Wave prefracturing of solid rocks under blasting/ A. N.Kochanov, V. N. Odintsev / Journal of Mining Science. – 2016. – V. 52, №6. – P.1080-1089.

91. Konoval V.N. Resource-saving methods of polymineral rocks explosive destruction/V.N.Konoval, I.L.Kratkovsky, K.S.Ishchenko//Topical issues of Resource-saving technologies in mineral mining and processing.Multi-authored monograph /V.N.Konoval, I.L.Kratkovsky, K.S.Ishchenko/ Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018.- P.229-249.

92. Peculiarities of brittle and ductile materials Destruction and deformation during the explosion of industrial shaped charges /Yu. Voitenko, V. Kravets, **A. Shukurov**, O. Drachuk/. Mining of Mineral Deposits, 2017. 11(2).- P, 12-20/

93. Regularities of the Energy of Formation Field in the Explosion of a Conical Charge /Viktor Kravets, Roman Zakusylo, Yuri Sydorenko, **Azer Shukurov**, Tomasz Sałaciński, Daryna Zakusylo/ Central European Journal of Energetic Materials/ 2019,16, (4): P.533-546

94. Rock mass blasting by Borehole Charge with Low-Density Tamping/ I.Katanov / III International Innovative Mining Symposium . E3S Web of Conferences – 2018, 41. – P.1–4.

95. Technological applications of border effects by hole charges system explosion/Viktor Kravets, **Azer Shukurov**, Roman Zakusylo, Andrij Kovtun/Materialy Wysokoenergetyczne. 2019.11(2)-S.21-30

96. The numerical analysis of borehole blasting and application in coal mine roof-weaken/L.Chun-ruia, K.Li-jun, Q.Qing-xing, M.De-bing, L.Quan-ming , X.Gang./ The 6th International Conference on Mining Science & Technology. Procedia Earth and Planetary Science 1.-2009. – P.451–459.

97. Zakusylo R. Investigation of the initiating ability of conically shaped charges./ R.Zakusylo/ High Energy Materials 2018, 10.- P. 69-76.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МАССИВУ ПРИ ВИБУХУ ПОДОВЖЕНОГО ЗАРЯДУ ОБМЕЖЕНОЇ ДОВЖИНИ

Для визначення напруженого стану в зоні дії вибуху системи зосереджених зарядів положення кожної точки масиву визначається її радіусом-вектором \vec{r} з компонентами $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$ в деякій системі координат (рис.1 2.4). Заряди розташовуються так, щоб їх вісь збігалась з напрямком осі z . Визначення напруженого стану в обраній точці середовища M виконується за компонентами напружень на майданчиках, нормальних до осей X, Y, Z - нормальні напруження σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} і дотичні τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} .

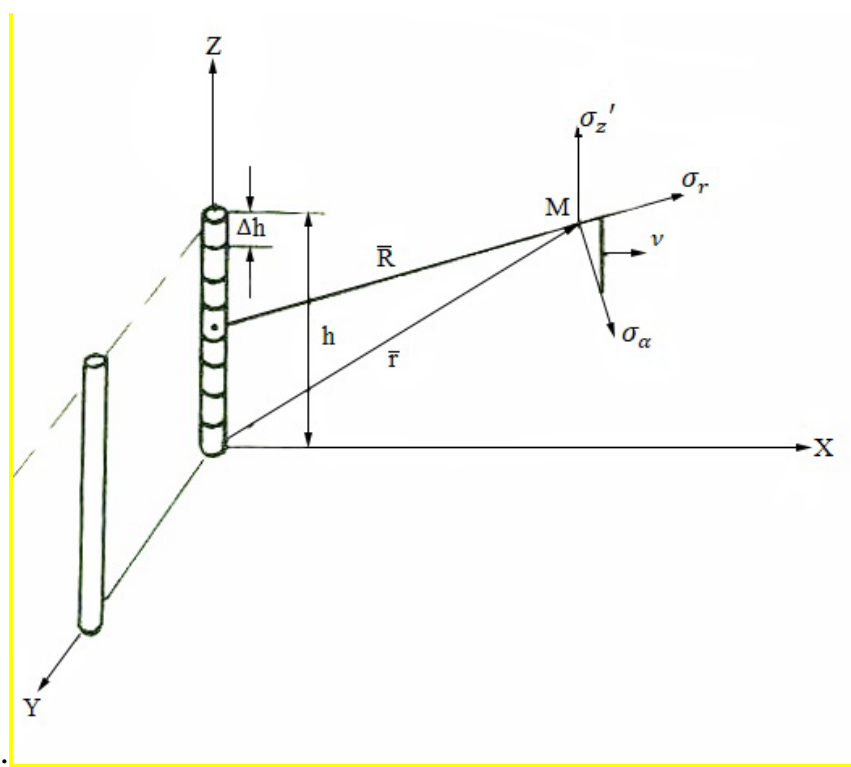


Рис.1. Схема до розрахунку поля напружень від вибуху лінійного заряду у вигляді гірлянди зосереджених зарядів

За принципом суперпозиції:

$$\sigma_{xy}=\sigma_{yx}, \sigma_{xz}=\sigma_{zx}, \sigma_{yz}=\sigma_{zy}. \quad (1)$$

Радіальне напруження від вибуху заряду:

$$\sigma_R(R, t) = \sigma_{R_{max}}(r) * \frac{t * t_k}{t_{max} - t_k}; t_k = \begin{cases} t_{oi} & t_{oi} \leq t \leq t_{max} \\ t_{\tau} & t_{max} \leq t \leq \tau \end{cases} \quad (2)$$

де R - відстань між точкою M з координатами x, y, z , та елементарним зарядом з координатами x_0, y_0, z_0 , t - час.

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (3)$$

Для визначення максимальних напружень R скористаємось експериментальною залежністю:

$$\sigma_{max} = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\mu, \quad (4)$$

де Q – маса елементарного заряду, кг, $K = 4,5 * 10^5$, $\mu = 3,3$

Тангенціальна складова, нормальна дотичній v :

$$\sigma_\alpha(R, t) = K_\tau \sigma(R, t) \quad (5)$$

Результуюче напруження в в точці M від N елементарних зарядів знайдемо, підсумовуючи проекції напружень $\sigma_r, \sigma_\alpha, \sigma_z$ на осі x, y, z .

Косинуси кутів між нормаллю v і осями $\sigma_r, \sigma_\alpha, \sigma_z$:

$$\cos(v, \sigma_r) = l, \cos(v, \sigma_\alpha) = m, \cos(v, \sigma_z) = n \quad (6)$$

Складові повного напруження P_v на площадці:

$$P_{xv} = \sigma_r * l, P_{yv} = \sigma_\alpha * m, P_{zv} = \sigma_z * n \quad (7)$$

Повне напруження на елементарному майданчику складається з проекцій на нормаль v :

$$\sigma_v = \sigma_x = P_{xv} * \cos(v, \sigma_2) + P_{yv} * \cos(v, \sigma_\alpha) + P_{zv} * \cos(v, \sigma_{z'}) = \sigma_r * l^2 + \sigma_\alpha * m^2 + \sigma_{z'} * n^2 = \sigma_r l^2 + \sigma_\alpha (m^2 + n^2) \quad (8)$$

Дотичне напруження знаходимо з рівнянь:

$$\tau^2 = P_v^2 - \sigma_v^2, \quad \text{де } P_v^2 = P_{xv}^2 + P_{yv}^2 + P_{zv}^2, \quad (9)$$

$$\tau^2 = l^2 (1 - l^2) (\sigma_r - \sigma_\alpha)^2. \quad (10)$$

Позначимо косинуси:

$$\cos(R, x) = \cos(vx, \sigma_R) = \frac{x}{R} = l_x; \quad (11)$$

$$\cos(R, y) = \cos(vy, \sigma_R) = \frac{y}{R} = l_y; \quad (12)$$

$$\cos(R, z) = \cos(vz, \sigma_R) = \frac{z - z_0}{R} = l_z. \quad (213)$$

Враховуючи ці позначення:

$$l_x^2 + l_y^2 + l_z^2 = 1. \quad (14)$$

$$\sigma_{xx} = \sigma_r l_x^2 + \sigma_\alpha (1 - l_x^2) ; \quad (15)$$

$$\tau_x = \pm l_x (\sigma_r - \sigma_\alpha) \sqrt{1 - l_x^2} . \quad (16)$$

Аналогічно для площадок y і v паралельно z :

$$\begin{cases} \sigma_{yy} = \sigma_{vy} = \sigma_2 l_y^2 + \sigma_\alpha (1 - l_y^2) \\ \tau_y^2 = l_y^2 (1 - l_y^2) (\sigma_r - \sigma_\alpha)^2 \end{cases} ; \quad (17)$$

$$\begin{cases} \sigma_{zz} = \sigma_{vz} = \sigma_r l_z^2 + \sigma_\alpha (1 - l_z^2) \\ \tau_z^2 = l_z^2 (1 - l_z^2) (\sigma_r - \sigma_\alpha)^2 \end{cases} . \quad (18)$$

Оскільки:

$$\tau_x^2 = \tau_{yx}^2 + \tau_{zx}^2 , \quad (19)$$

$$\tau_y^2 = \tau_{xy}^2 + \tau_{zy}^2 , \quad (20)$$

$$\tau_z^2 = \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 , \quad (21)$$

дотичні напруження для т. M мають вигляд:

$$\tau_{xy}^2 = \frac{(\sigma_2 - \sigma_\alpha)^2}{2} [l_x^2 (1 - l_x^2) + l_y^2 (1 - l_y^2) - l_z^2 (1 - l_z^2)] , \quad (22)$$

$$\tau_{xz}^2 = \frac{(\sigma_2 - \sigma_\alpha)^2}{2} [l_x (1 - l_x^2) - l_y^2 (1 - l_y^2) + l_z (1 - l_z^2)] , \quad (23)$$

$$\tau_{yz}^2 = \frac{(\sigma_2 - \sigma_\alpha)^2}{2} [-l_x (1 - l_x^2) + l_y^2 (1 - l_y^2) + l_z (1 - l_z^2)] , \quad (24)$$

Компоненти нормального і дотичного напружень характеризують напружений стан в т. M в результаті вибуху елементарного заряду.

Напружений стан від N елементарних зарядів:

$$\sigma_x = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \sigma_{(xx)ik} , \quad (25)$$

$$\sigma_y = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \sigma_{(yy)ik} , \quad (26)$$

$$\sigma_z = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \sigma_{(zz)ik} , \quad (27)$$

$$\tau_{xy} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \tau_{(xy)ik} . \quad (28)$$

ДОДАТОК В

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕТОНАЦІЙНОГО РОЗКЛАДАННЯ УСЧЕНОГО КОНІЧНОГО ВИБУХОВОГО ЗАРЯДУ

Моделювання [93] здійснено в осесиметричному формулюванні Ейлера [6] з використанням рівняння в циліндричних координатах (r-z):

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_r)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} + \frac{\rho u_r}{r} &= 0; \\ \rho \frac{du_r}{dt} &= \rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) = \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{D_{\sigma_{rz}}}{\partial z} + \frac{1}{r} (2D_{\sigma_{rr}} + D_{\sigma_{zz}}); \\ \rho \frac{du_z}{dt} &= \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{D_{\sigma_{rz}}}{\partial r} + \frac{1}{r} (D_{\sigma_{rz}}); \\ \sigma_{rr} &= D_{\sigma_{rr}} - p; \quad \sigma_{zz} = D_{\sigma_{zz}} - p; \quad \sigma_{rz} = D_{\sigma_{rz}}; \\ \frac{dD_{\sigma_{rr}}}{dt} &= 2G \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{3\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) + \delta_{rr}; \quad \frac{dD_{\sigma_{zz}}}{dt} = 2G \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{1}{3\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) + \delta_{zz}; \\ \frac{dD_{\sigma_{rz}}}{dt} &= 2G \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \delta_{rz}; \\ \delta_{rr} &= \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) \cdot D_{\sigma_{rz}}; \quad \delta_{zz} = \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} - \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) \cdot D_{\sigma_{rz}}; \quad \delta_{rz} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} - \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) \cdot (D_{\sigma_{rr}} - D_{\sigma_{zz}}).\end{aligned}$$

де u_i - компонент вектора швидкості середовища; ρ - щільність середовища; G - модуль зсуву (модуль пружності другого роду), σ_{ij} - компонент тензору напружень; $D_{(\sigma_{ij})}$ - складова діватора напружень.

Це формулювання засноване на принципі математичного переміщення носія по нерухомій обчислювальній сітці і дозволяє визначити високий рівень ступеня деформації середовища, включаючи різні види турбулентності та скручування. Крім того, кожен елемент дизайну може містити суміш декількох матеріалів. У нашому випадку це суміш продуктів детонації та повітря. Для ретельного обчислення через межі контактів

середовища використовували метод концентрації, а систему рівнянь доповнювали співвідношенням концентрації:

$$\frac{\partial(\omega\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\omega\rho u_r)}{\partial r} + \frac{\partial(\omega\rho u_z)}{\partial z} + \frac{\omega\rho u_r}{r} = 0.$$

У полі потоку продуктів детонації та повітря в обчисленому ейлеровому елементі поява одного з двох або деякої частини взаємодіючих середовищ у ньому визначалася за допомогою параметра концентрації ω , значення якого варіювало від 0 до 1. При цьому значення "0" відповідало повному заповненню обчисленого елемента продуктами детонації, а значення "1" відповідало повному заповненню обчисленого елемента повітрям.

Розширення продуктів детонації було описано ізоентропіком у формі Джонса-Вілкінса-Лі:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega \bar{E}}{V}$$

де p , E_0 - це відповідно тиск і внутрішня енергія продуктів детонації;

$V^- = \rho_{-0} / \rho$ - відносний об'єм продуктів детонації;

ρ_0, ρ - відповідно початкові та поточні значення щільності;

A , B , R_1 , R_2 , ω - параметричні константи, які залежать від типу вибухівки.

ДОДАТОК С

РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ МЕРЕЖІ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ

Вихідні параметри			Проектовані параметри масового вибуху.							
Тип ВР	H, м	d _{CB} , мм	L _{CB} , м	h _{наб} , м	L _{зар} , м	W, м	h _T , м	a, м	ΔT, %	ΔE, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЕВР	10.0	215	11	5,12	5,88	5,45	0,66	6,83	22,4	9,0
		155	11	4,0	7,0	4,35	0,66	5,36	18,7	7,48
		105	11	2,93	8,07	3,23	0,6	3,91	14,9	5,95
	7.0	215	7,7	4,7	3,0	4,7	0,4	6,0	26,7	10,67
		155	7,7	3,66	4,04	3,9	0,48	4,88	23,8	9,5
		105	7,7	2,74	4,96	2,98	0,48	3,65	19,3	7,74
	5,0	215	5,5	4,1	1,56	4,26	0,25	5,47	31,5	12,6
		155	5,5	3,56	1,94	3,75	0,38	4,74	27,6	10,28
		105	5,5	2,58	2,98	2,7	0,34	3,35	22,8	9,12
Гра мо- ніт 79/ 21	10,0	215	11	4,8	6,2	5,15	0,7	6,4	22,6	9,04
		155	11	3,87	7,13	4,19	0,64	5,16	17,9	7,18
		105	11	2,72	8,28	3,0	0,57	3,62	13,8	5,51
	7.0	215	7,7	4,27	3,43	4,5	0,47	5,69	27,4	10,96
		155	7,7	3,53	4,17	3,78	0,5	4,71	24,0	9,6
		105	7,7	2,58	5,12	2,82	0,48	3,44	18,7	7,5
	5,0	215	5,5	3,68	1,82	3,82	0,28	4,9	30,8	12,31
		155	5,5	3,14	2,36	3,3	0,32	4,19	27,1	10,84
		105	5,5	2,36	3,14	2,55	0,38	3,15	24,2	9,68
	10,0	215	11,0	4,3	6,7	4,6	0,6	5,74	17,9	7,04

AN- FO		155	11,0	3,47	7,53	3,77	0,6	4,63	15,9	6,36
		105	11,0	2,5	8,5	2,8	0,6	3,33	14,1	5,68
	7,0	215	7,7	4,0	3,7	4,23	0,46	5,35	24,9	9,94
		155	7,7	3,2	4,5	3,44	0,48	4,27	21,3	8,53
		105	7,7	2,36	5,34	2,6	0,48	3,15	18,0	7,2
	5,0	215	5,5	3,54	1,96	3,69	0,3	4,72	30,6	12,24
		155	5,5	2,89	2,61	3,05	0,37	3,85	28,4	11,34
		105	5,5	2,25	3,25	2,45	0,4	2,93	24,6	9,84

ДОДАТОК D

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ВЗАЄМОДІЇ ХВИЛЬОВИХ ФРОНТІВ

За аналогією з методикою моделювання подовженого заряду гірляндою зосереджених зарядів, застосованою в розділі 2.2, розглянуто закономірності формування силового поля від одночасного вибуху суміжних подовжених зарядів кінцевої довжини.

На відміну від вибуху зосередженого заряду вибух подовженого заряду характеризується іншою послідовністю в динаміці розвитку силового поля. Процес починається з поширення детонаційного фронту в кожному заряді з швидкістю C . Після виходу процесу на межу з породою формується фронт хвилі напружень в масиві між суміжними зарядами, який переміщується з швидкістю V . В реальних умовах процес ініціюється в торці заряду і поширюється як вздовж заряду в осьовому напрямку, так і в радіальному напрямку, швидко виходячи за межі заряду в середовище. На основі аналізу робіт [75-77], присвячених динаміці формування силових полів від вибухових хвиль, можна прийняти загальний вигляд імпульсу напруження в будь-якій точці гірського масиву (рис.1). В координатах « $\sigma - t$ » цей імпульс в задану точку масиву приходить від проміжного детонатора (бойовика) з певною часовою затримкою Δt , яка складається з часу проходження детонаційного фронту по заряду і часу розповсюдження вибухової хвилі від заряду гірським масивом до цієї точки. Враховуючи наведене, загальний вигляд імпульсу хвилі напружень:

$$\sigma = 5\sigma_{\max} \sin\left(\frac{t - \Delta t}{T} \pi\right) e^{-10^3(t - \Delta t)}, \quad (1)$$

де σ_{\max} - максимальне значення напружень; t - час від початку процесу ініціювання заряду; T - період активної дії хвилі.

При цьому можливо виділити період активної дії хвилі T , під час якої величина напружень істотно більша порівняно з подальшим їх розвитком

до залишкових значень, що характерні для пружних хвиль в зоні сейсмічної дії вибуху

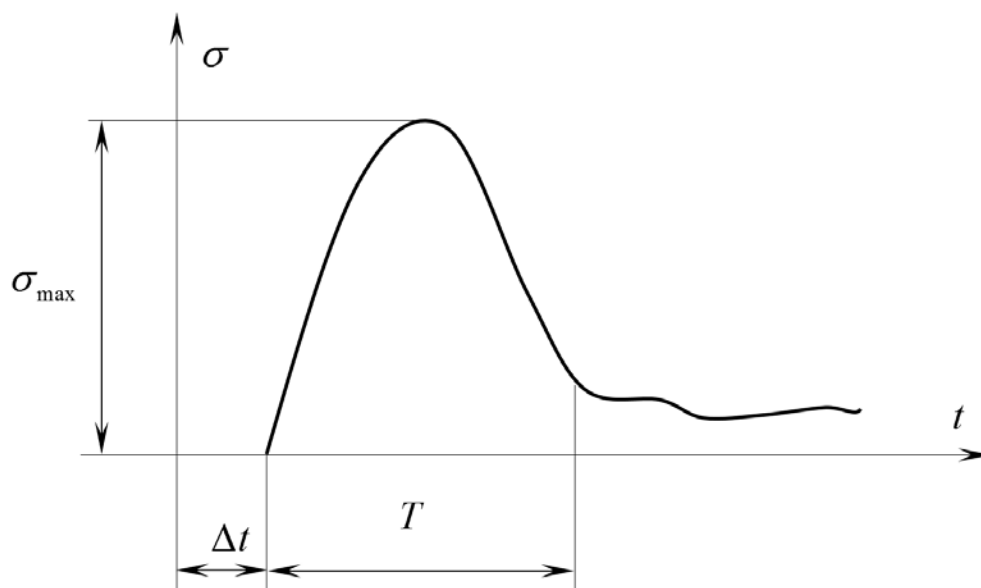


Рис. 1 Характер розвитку епюри напруження в часі

.Під час розвитку процесу частини заряду і масиву знаходяться у різних станах. Для розділення станів простору системи «заряд – масив» скористаємось функцією Хевісайда:

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

В нашому рішенні аргументом функції є час набуття події. В першому випадку - детонації, в другому –розвитку напружень в гірському масиві.

Час набуття стану детонації після моменту ініціювання заряду Δt_c :

$$\Delta t_c = \frac{\Delta L}{c}, \quad (3)$$

де ΔL - координата точки вздовж заряду.

Час початку розвитку напружень в гірському масиві після проходження детонації Δt_v :

$$\Delta t_v = \frac{\Delta S}{v} \quad (4)$$

де ΔS - відстань від заряду до точки простору.

Процес збурення гірського масиву від початку ініціювання складається з двох часу приходу детонації і часу початку розвитку напружень в гірському масиві:

$$\Delta t = \Delta t_c + \Delta t_v. \quad (5)$$

Враховуючи рівняння (2-4), функція, що описує поширення напружень в гірському масиві від одиничного сферичного заряду:

$$\sigma = 5k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^\mu \theta(t - (\Delta t_c + \Delta t_v)) \theta(t - \Delta t_c) \sin \left(\frac{t - (\Delta t_c + \Delta t_v)}{T} \pi \right) e^{-10^3 (t - (\Delta t_c + \Delta t_v))}. \quad (6)$$

Для визначення сумарного тиску в масиві від суміжних зарядів розглянемо схему взаємодії двох свердловинних зарядів довжиною H_0 (рис. 2). Для спрощеного представлення схеми розрахунку з подальшим зображенням характеру розподілу напружень заряди розташовано горизонтально. Вздовж осі OX розташовано простір між зарядами, вздовж осі OY розташовані осі свердловин. Свердловинні заряди мають наступні геометричні параметри:

глибина свердловин - H_0 ;

довжина заряду - H_2 ;

висота набійки - H_1 ;

відстань між свердловинами - a .

Відстань між зарядами a розділено на k проміжків з індексом i . Глибину H_0 розділено на m проміжків з індексом j .

Висоту заряду H_2 на l проміжків з індексом n . Для зручності крок по висоті свердловини зроблено однаковим:

$$\Delta x = \frac{a}{k}; x = \Delta x i;$$

$$\Delta y = \frac{H_0}{m}; y = \Delta y j.$$

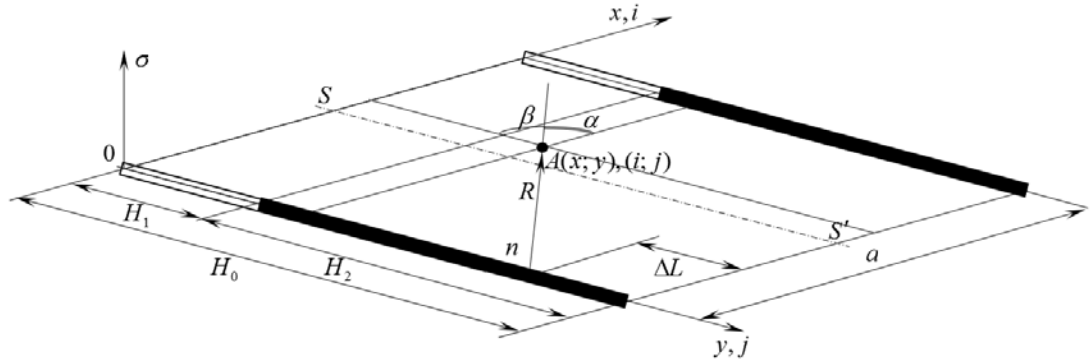


Рис. 2 Схема до розрахунку сумарного тиску від дії двох суміжних зарядів на осі симетрії $a/2$

Для зручності крок по висоті свердловини зроблено однаковим Δy .

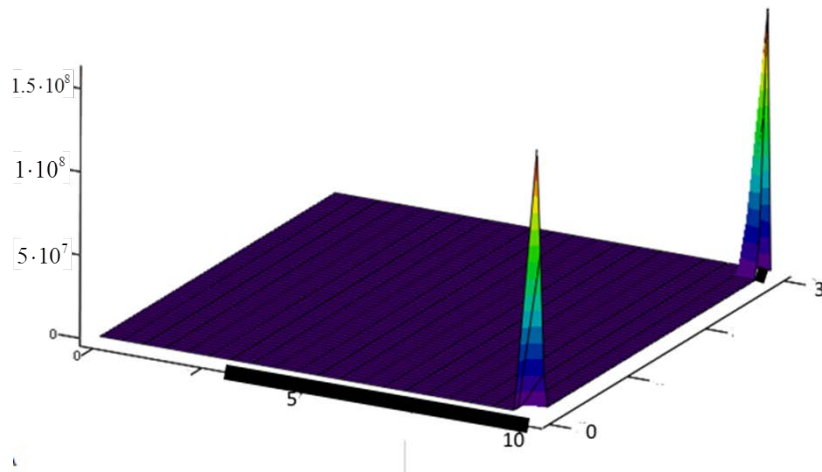
Для використання системи (2.25-2.28) визначимо напрямні косинуси і синуси для довільної точки A (рис.2) з координатами $A(x; y), (i; j)$.

$$\cos \alpha = \frac{\Delta x i}{\sqrt{\left(H_1 + \frac{\Delta y}{2} + \Delta y n - \Delta y j\right)^2 + (\Delta x i)^2}};$$

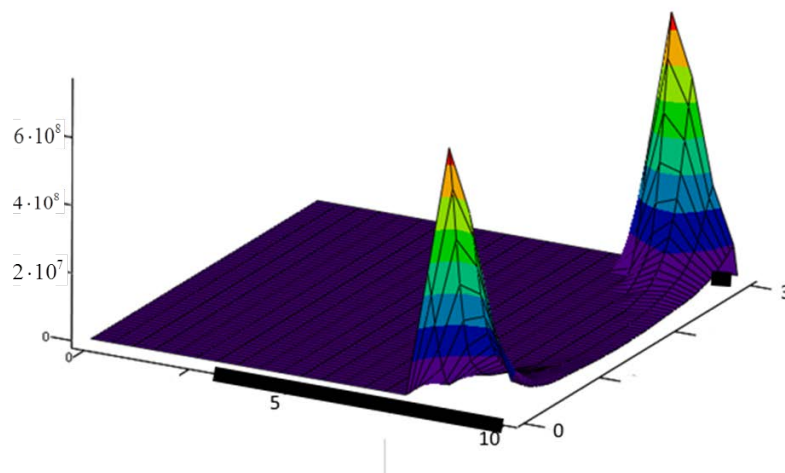
$$\cos \beta = \frac{\Delta y i}{\sqrt{\left(H_1 + \frac{\Delta y}{2} + \Delta y n - \Delta y j\right)^2 + (\Delta x i)^2}}. \quad (7)$$

На рис.3 представлено приклад розподілу сумарних нормальних тисків, які виникають у площині між зарядами, визначених за системою рівнянь (2.25-2.28) при різних значеннях часу (параметри заряду $H_0 = 10\text{ м}$, $H_2 = 7\text{ м}$, $H_1 = 3\text{ м}$, $a = 3\text{ м}$, $k = 60$, $m = 20$, $K = 4.5 \cdot 10^5$, $\mu = 3,3$, $Q = 3,9 \text{ КЗ/м}$, $c = 5500 \text{ м/с}$, $v = 3000 \text{ м/с}$).

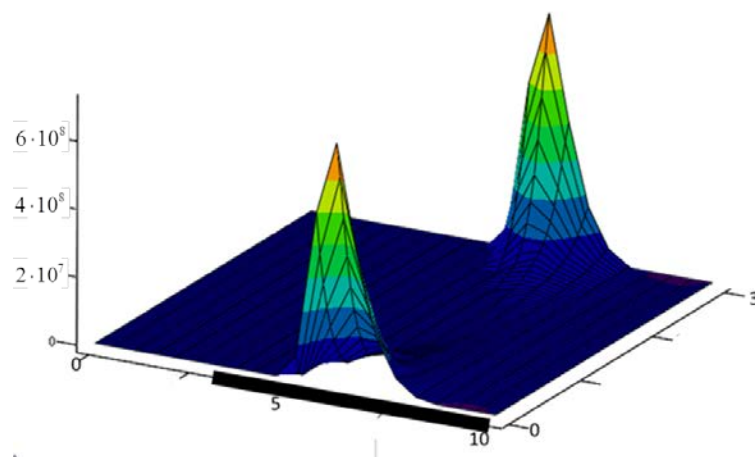
а Час 0,0001с



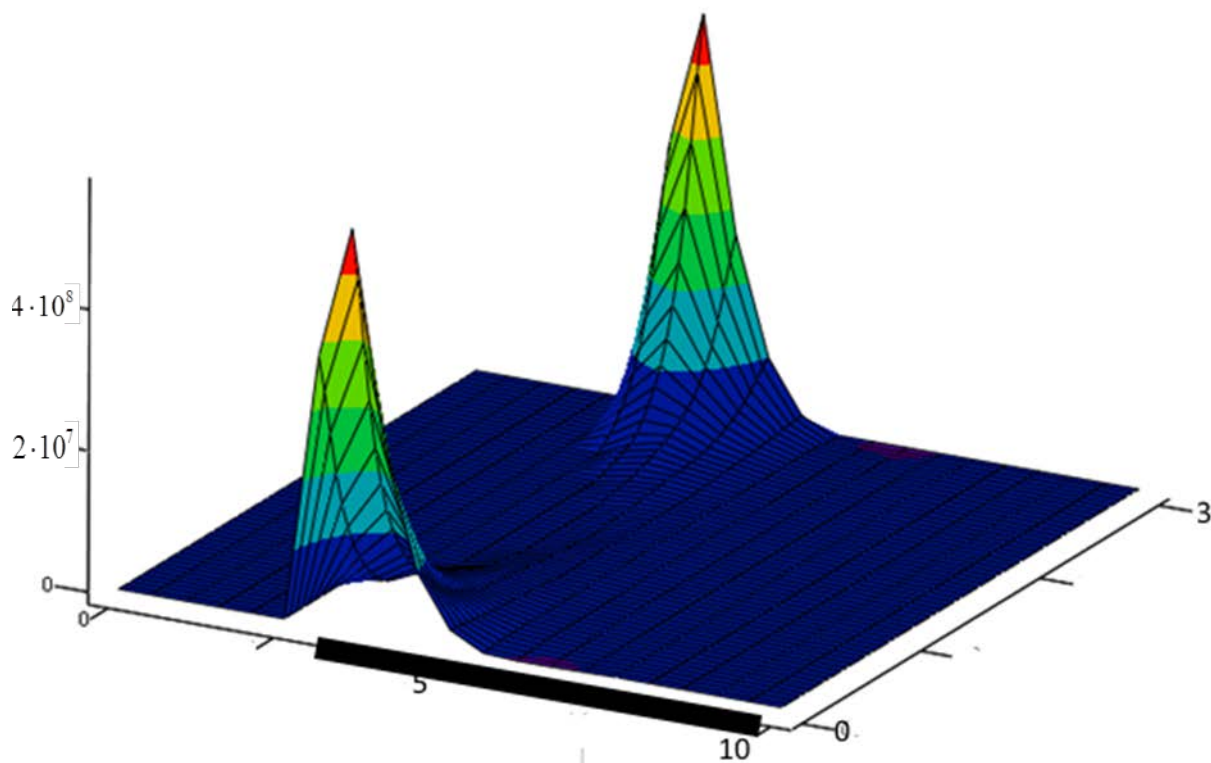
б Час 0,0005



в Час 0,001



г Час 0,0015



д Час 0,002с

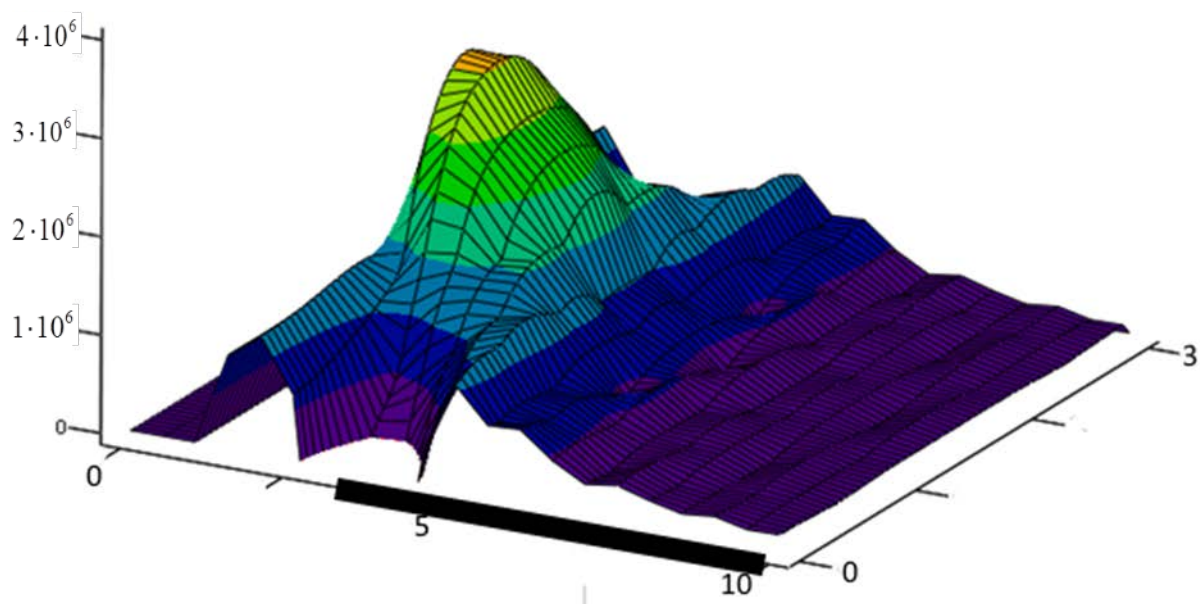
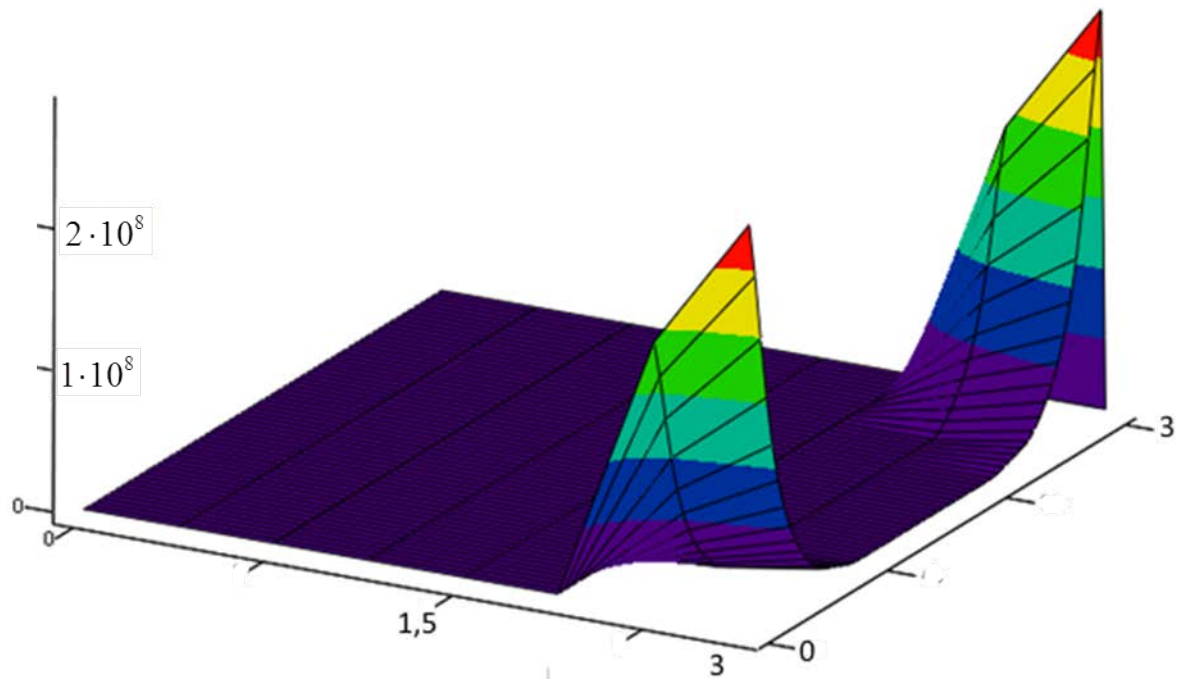


Рис. 3 Розподіл напружень в площині свердловин

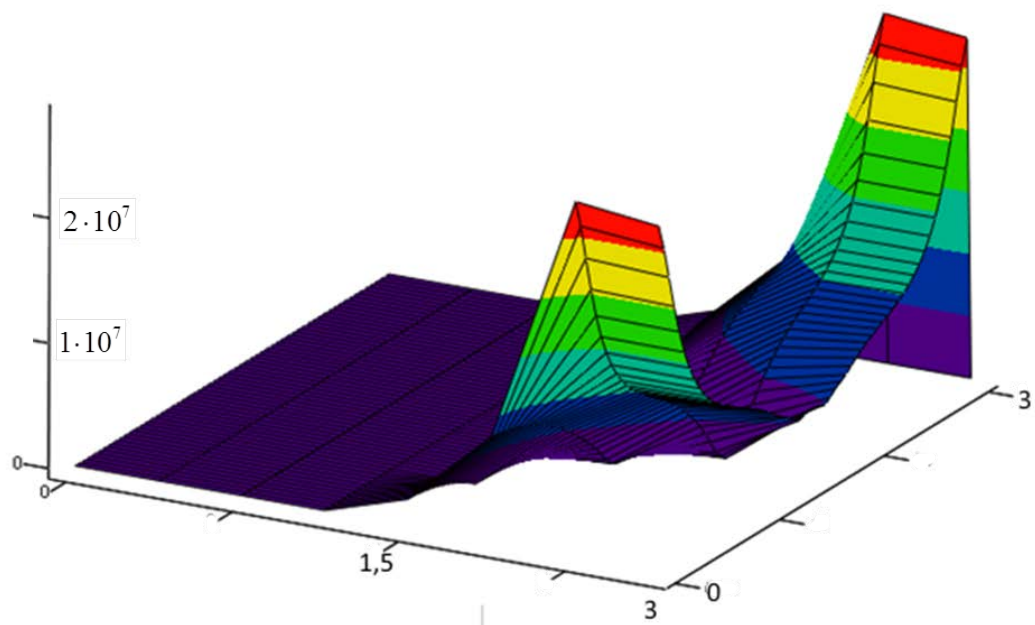
Інтенсивність напружень в нижній частині на декілька порядків вища за напруження верхній частині масиву, що частково ускладнює аналіз

прокесів які виникають у зоні набійки. Для дослідження верхньої зони масиву побудовано діаграми тисків (рис. 4, а - в).

а Час 0,0015с



б Час 0,00175с



В

Час 0,002с

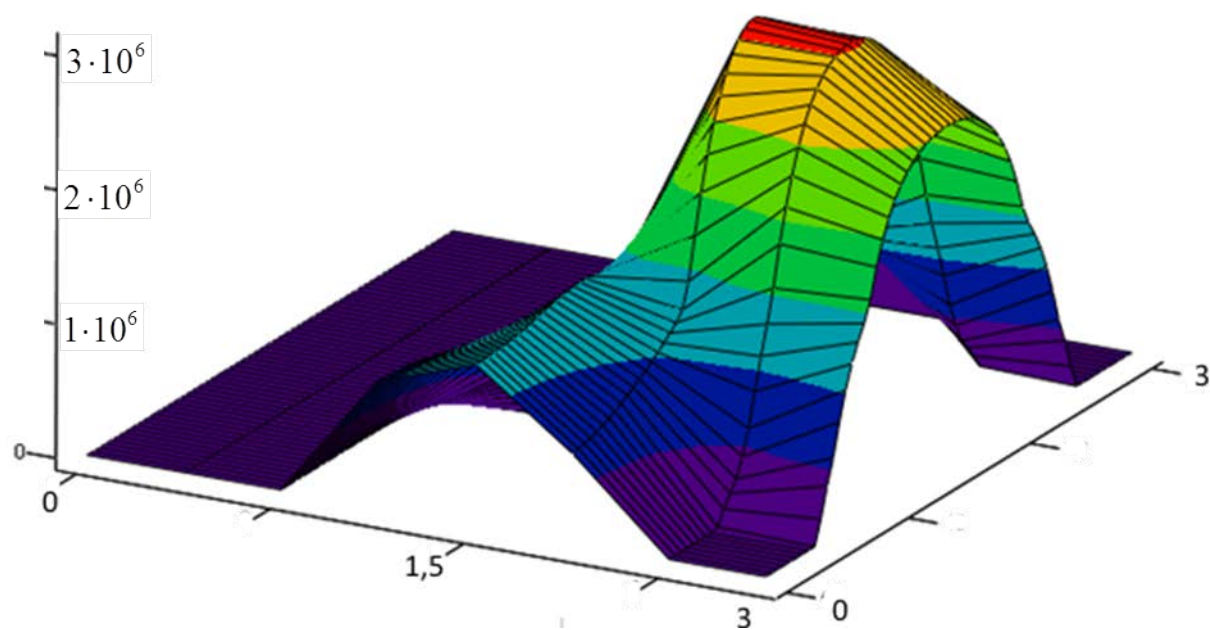
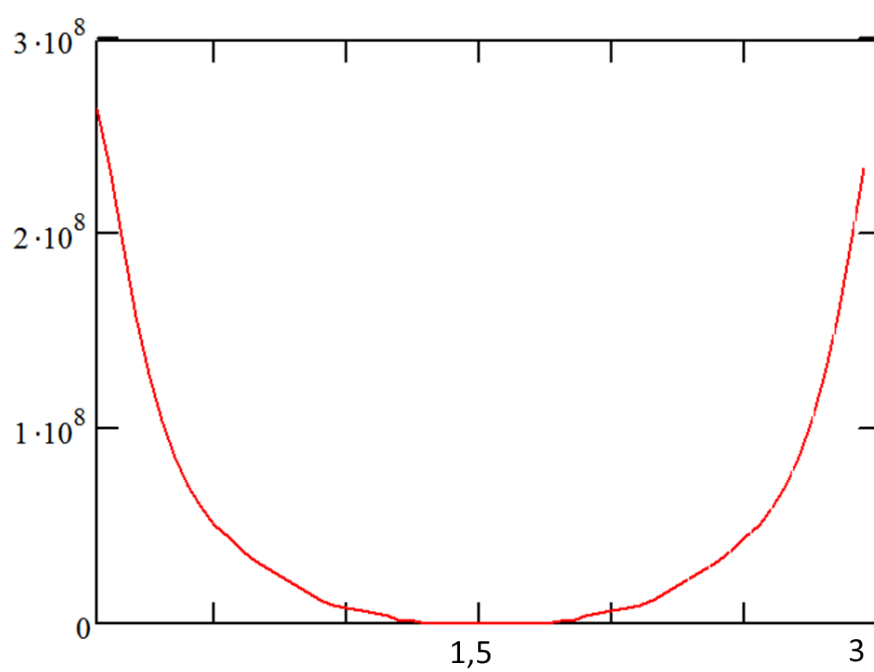
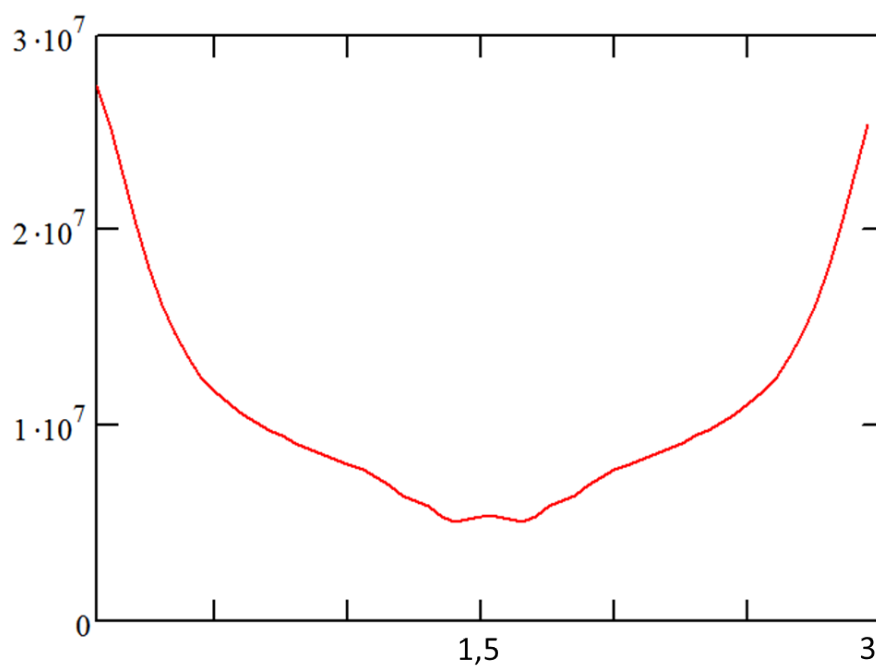


Рис. 4 Інтенсивність напружень у верхній частині масиву на рівні набійки



Час 0,00175с



Час 0,002с

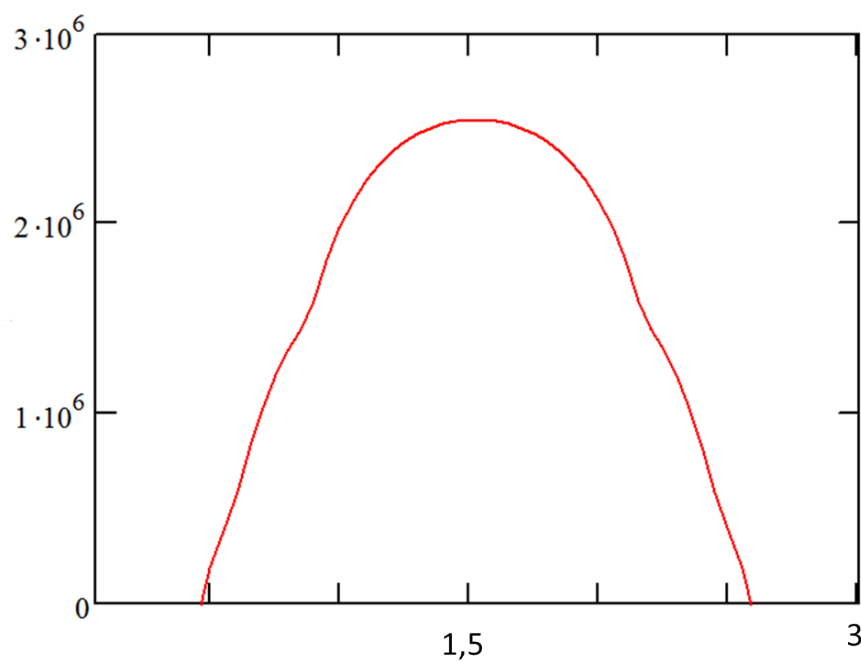


Рис.5. Епюри максимумів напружень в силовому полі між верхніми торцевими краями двох суміжних свердловинних зарядів в фіксовані моменти часу від початку їх ініціювання

З аналізу графіків можливо зробити висновок, що найменше значення тиску по висоті виникає у центральній частині масиву.

Дані розрахунків на рис. 6,а-д стосуються області між зарядами, обмеженої параметром H_2 , позначеним на осі Y діапазоном значень глибини від 3м до 10м, та стосуються т.А, розташованої на однаковій відстані від обох суміжних зарядів, тобто на серединній осі симетрії $S-S'$ або Y ($a/2$). На наведених діаграмах верхні торці обох свердловинних зарядів фіксуються на позначці 3м, нижні – на позначці 10м. Ініціювання зарядів виконується від нижнього торця зарядів. Детонаційний процес закінчується в області вище верхнього торця зарядів на позначці 3м. Таким чином, розрахунком охоплено всю зону дії свердловинного заряду, включаючи міжзарядну область та особливо торцеві зони.

Аналіз наведених діаграм розподілу поля напружень в часі і просторі за умови взаємодії суміжних свердловинних зарядів в режимі нижнього одночасного ініціювання свідчить, що інтенсивність напружень на рівні між

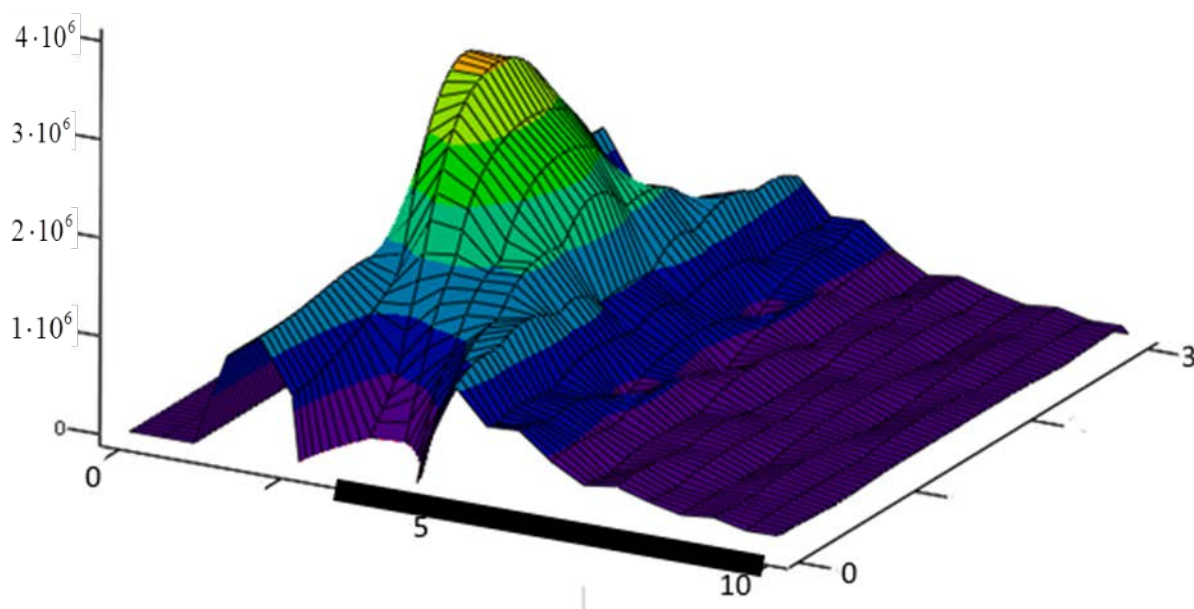
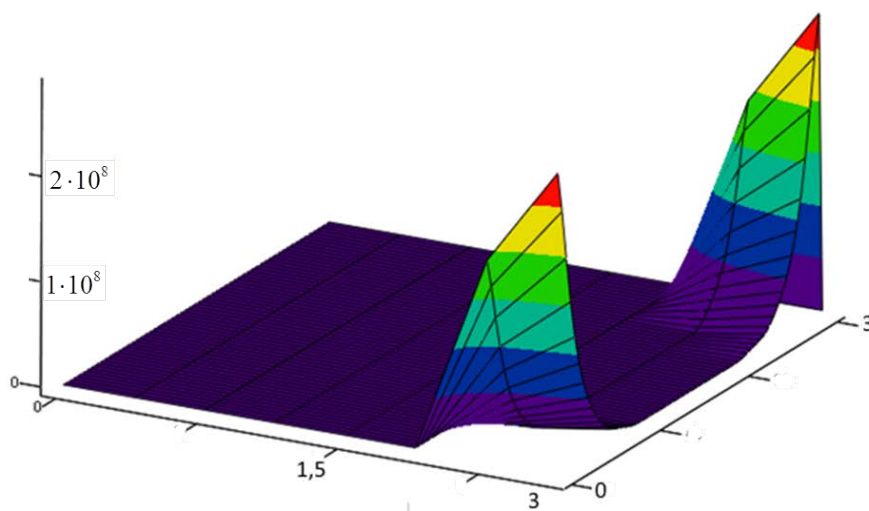


Рис.6 Приклад розрахунку сумарних напружень між суміжними зарядами в момент 0,002с після їх ініціювання

зарядами майже на порядок вища порівняно з напруженнями в породному шарі вище від верхніх торців зарядів, тобто на рівні набійки.

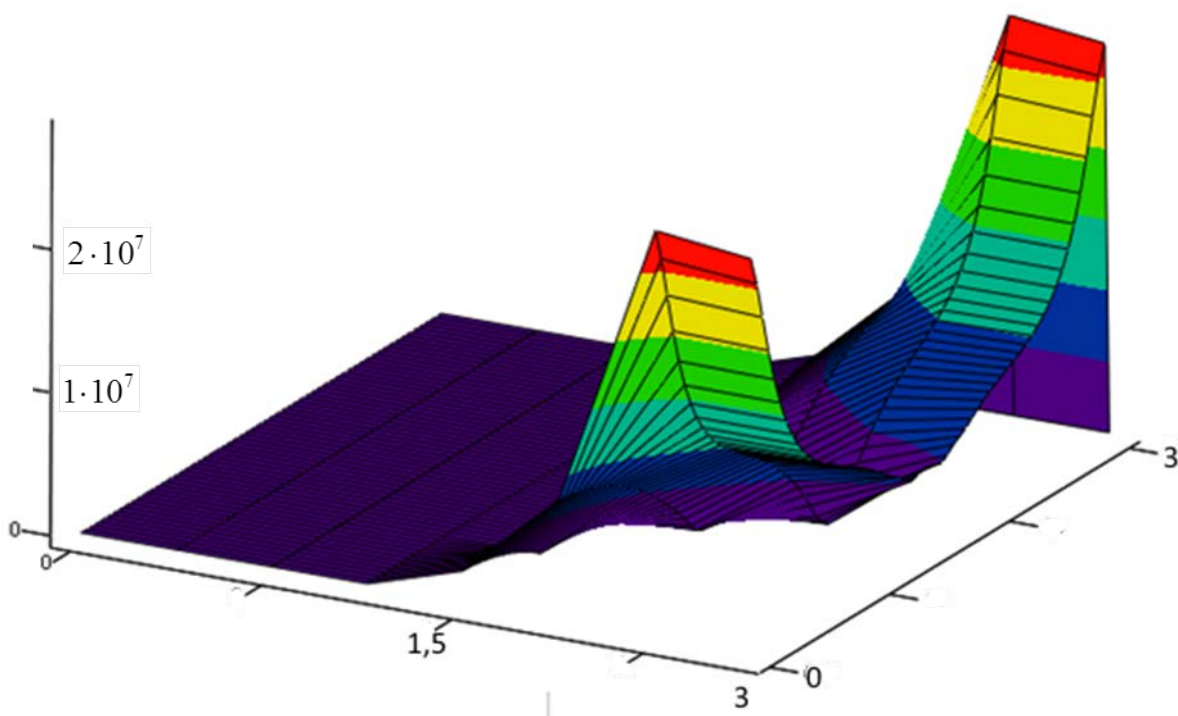
Для дослідження особливостей формування силового поля в шарі масиву на рівні набійки та порівняння їх рівня з аналогічними діаграмами в міжзарядному просторі побудовано відповідні діаграми тисків (рис. 7. а - в) окремо для породного шару на рівні набійки в діапазоні глибини 2...5м від поверхні.

Час 0,0015с



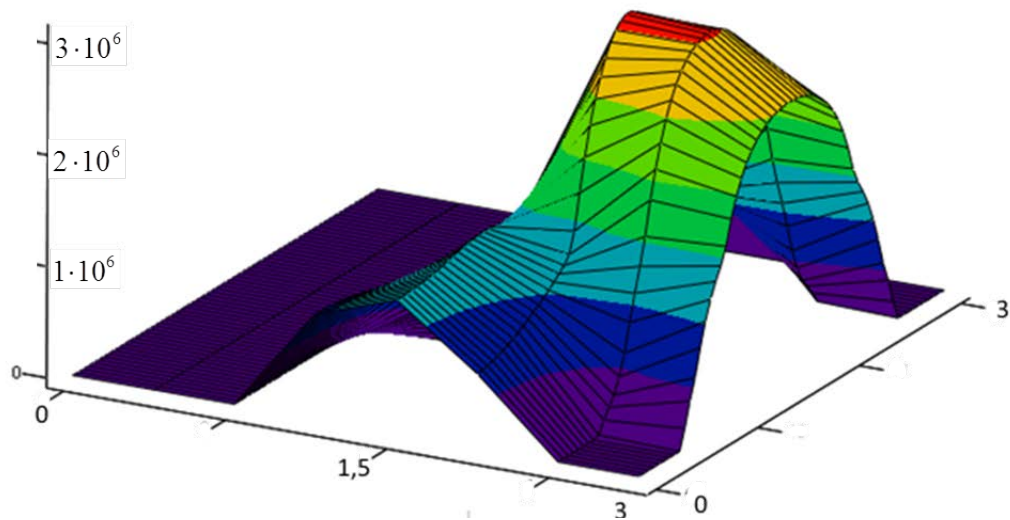
а

Час 0,00175с



б)

Час 0,002с



в) Час 0,0025с

Рис.7 Інтенсивність напружень в масиві на рівні набійки у фіксовані моменти часу після одночасного ініціювання двох суміжних свердловинних зарядів

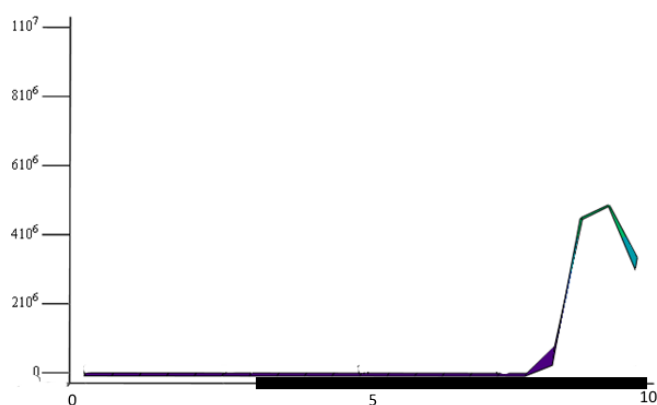
Відповідно графіки рис.3...7 стосуються більш пізніх за часом епізодів, коли детонація суміжних зарядів завершується і лише продовжується поширення зустрічних силових полів на верхню (над торцями суміжних зарядів) область масиву, обмежену по висоті набійкою.

З аналізу і порівняння наведених графіків на рис.3...7 можна зробити загальний висновок, що внаслідок дисипації енергії вибуху з відстанню від зарядів та взаємодії дисипуючих силових фронтів у центральній частині досліджуваного масиву між свердловинами встановлюється порівняно з міжзарядним ціликом на порядок менше значення сумарного тиску на висоті, позначеній як H_1 на рис.2. Для підтвердження цього спостереження та більш детального аналізу стану силового поля в центральній частині міжзарядного цілика, рівновіддаленій від осей суміжних зарядів на величину $a/2$, побудовано у фіксовані моменти часу діаграми розвитку тиску на осі симетрії системи двох суміжних зарядів (рис.8 , $a-d$). На цих

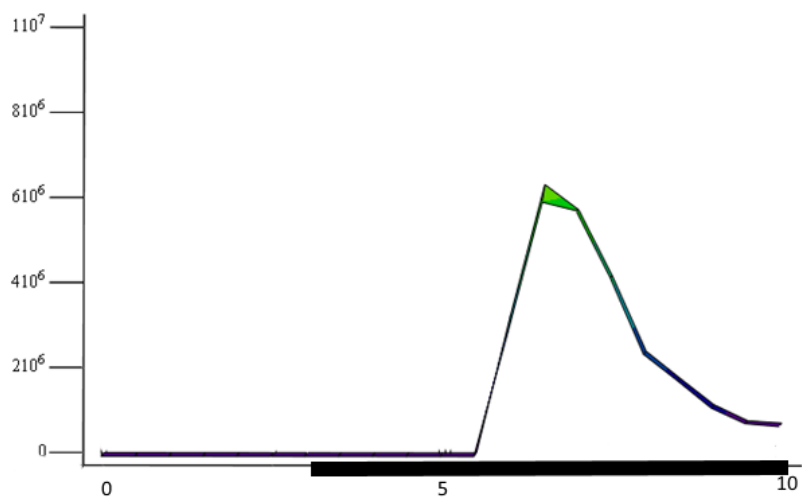
рисунках на осі Y жирною лінією позначено межі розрахункового подовженого заряду довжиною 10м.

Завдяки такій постановці задачі картина розподілу тиску спрощується, перетворюючись з об'ємної в плоску.

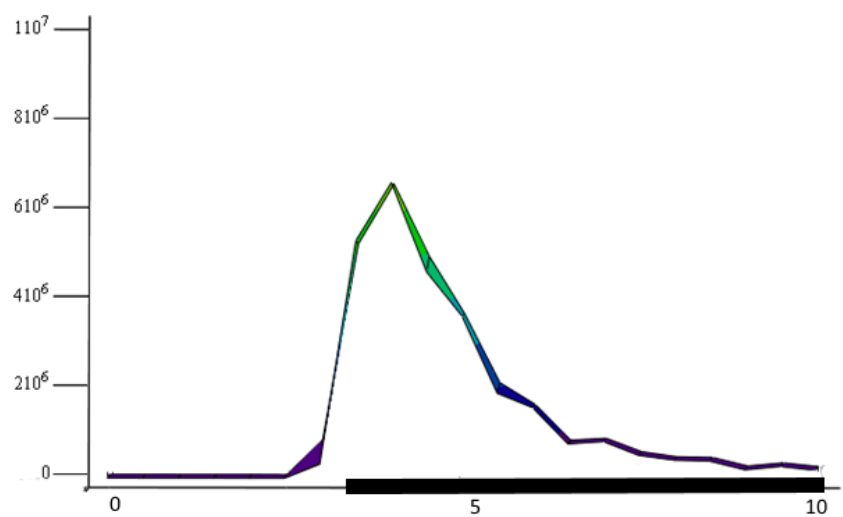
а) Час 0,0075с



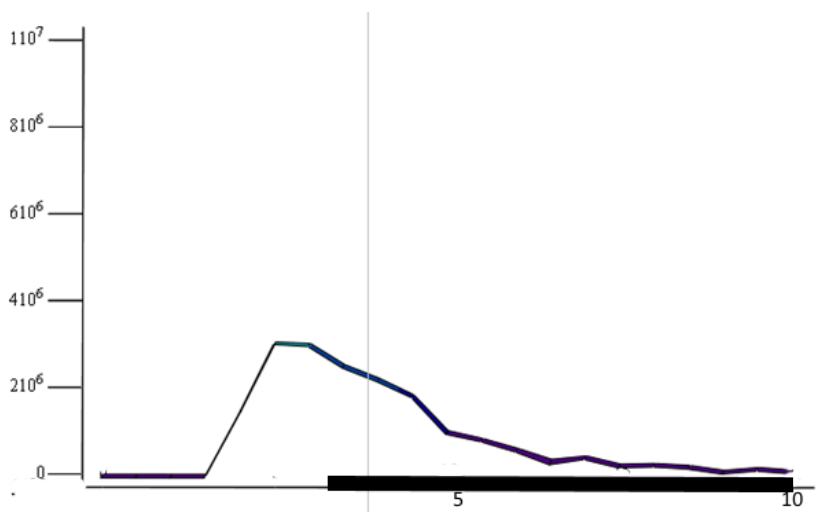
б) Час 0,00125с



в) Час 0,00175с



з) Час 0,002



д) Час 0,00225

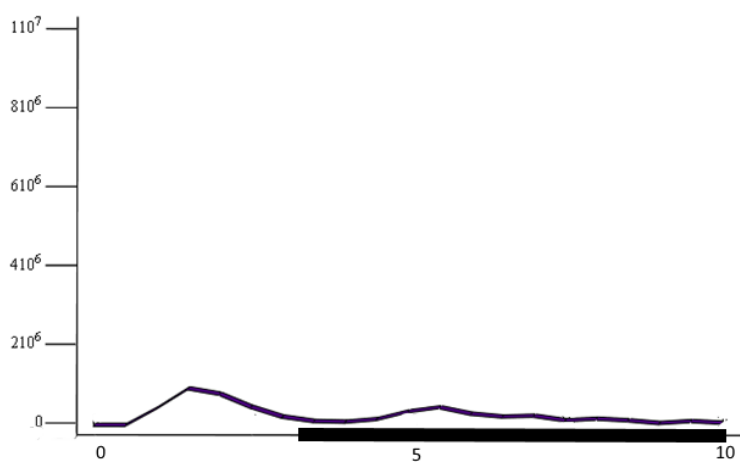


Рис.8. Розподіл напружень в часі вздовж осі симетрії S в системі суміжних зарядів

За одночасного нижнього ініціювання суміжних зарядів більший сумарний ефект порівняно з поодиноким зарядом має бути досягнутий в середній зоні між зарядами, оскільки зустрічні фронти хвиль напружень в ідеалі зустрінуться по середній лінії одночасно, якщо не зважати на можливі неоднорідності в масиві, які можуть вплинути на швидкість проходження цих хвиль. Фактично можна в спрощеному варіанті встановити, як по висоті зарядів і набійки розподіляється максимально можливе сумарне значення тиску на відстані $a/2$ між двома суміжними свердловинними зарядами. Згідно з виконаними розрахунками (рис.8 , $a-d$) побудовано зведений графік розподілу максимальних сумарних напружень на серединній осі між суміжними зарядами (рис.9), починаючи з глибини 10м, тобто з горизонту закладання нижніх торців суміжних зарядів.

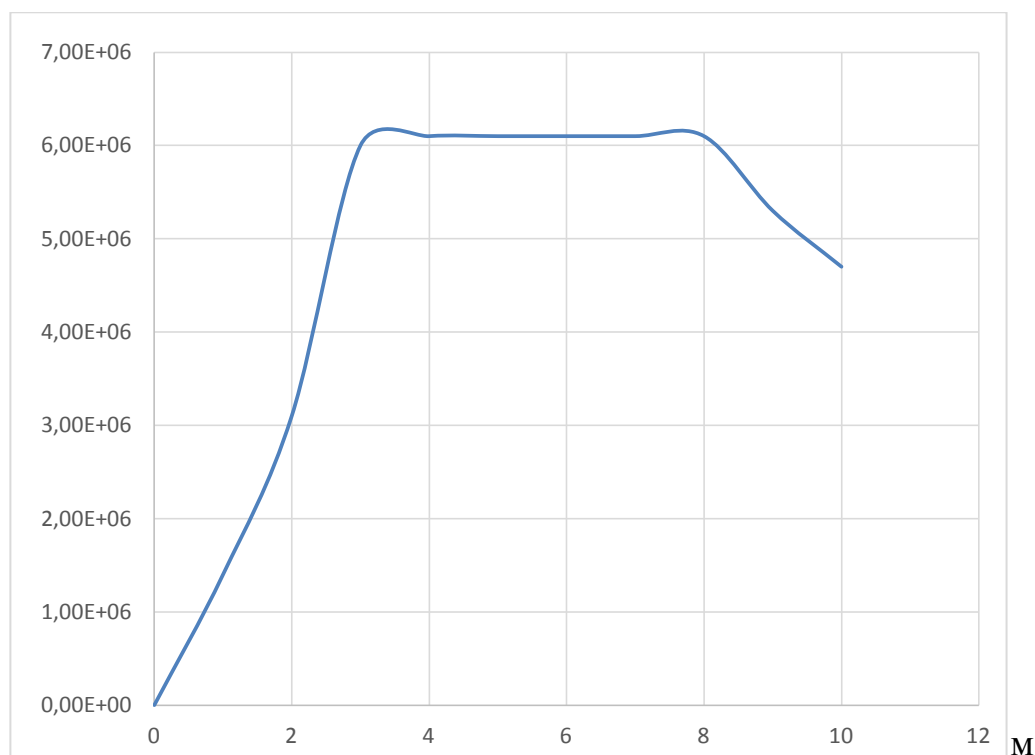


Рис.9 Розподіл максимальних сумарних напружень на серединній осі симетрії S-S' в системі двох суміжних зарядів

З графіка рис.9 слідує, що за умови нижнього ініціювання (без підсилення заряду проміжним ініціатором) одразу поза межами площини зарядів спостерігаються наступні ефекти:

в межах нижнього торця заряду (горизонт 10...8м) спостерігається закономірно знижена інтенсивність сумарного силового поля, яку аналогічно даним про моделювання поодинокого подовженого заряду (розділ 2.3) потрібно компенсувати торцевим підсиленням заряду;

на горизонті 3...0м, тобто на рівні набійки сумарне силове поле зберігає осьову симетрію завдяки нижньому ініціюванню та одразу за межею площини зарядів інтенсивно слабшає і вже на глибині 2м від поверхні його інтенсивність зменшується вдвічі.